

**Η** Βιολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την έρευνα των βιολογικών συστημάτων. Στα βιολογικά συστήματα συμπεριλαμβάνονται συνήθως έμβιοι οργανισμοί και μελετάται η συμπεριφορά τους σε παθολογικές και φυσιολογικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό η βιολογία αναφέρεται συχνά και ως επιστήμη της ζωής (life science).

Η βιολογία είναι μια επιστήμη με πολύ ευρύ φάσμα που περικλείει πολλές υποεπότητες και τομείς. Ανάμεσα στα σημαντικότερα θέματα της βιολογίας είναι και οι παρακάτω πέντε ενότητες που αποτελούν κατά κάποιο τρόπο αξιώματα της σύγχρονης βιολογίας.

- Το κύτταρο είναι η δομική μονάδα όλων των έμβιων οργανισμών.
- Μέσω της εξέλιξης κληρονομούνται χαρακτηριστικά και δημιουργούνται νέα είδη.
- Τα γονίδια είναι οι βασικές μονάδες πάνω στις οποίες βασίζεται η κληρονομικότητα.
- Ένας οργανισμός ρυθμίζει το εσωτερικό του περιβάλλον, έτσι ώστε να διατηρεί μια σταθερή και συνεχή εσωτερική κατάσταση.
- Οι έμβιοι οργανισμοί καταναλώνουν και μετατρέπουν ενέργεια.

Οι κλάδοι της βιολογίας συνήθως διακρίνονται ανάλογα με την κλίμακα υπό την οποία ερευνούν τους έμβιους οργανισμούς. Με αυτή τη μέθοδο μπορούμε να διακρίνουμε την μοριακή βιολογία, την βιοχημεία, την κυτταρική βιολογία, τη μικροβιολογία, τη φυσιολογία, την ανατομία, την ιστολογία κ.α.

Επίσης, με κριτήριο το αντικείμενο μελέτης μπορούμε να διακρίνουμε μερικούς ακόμα κλάδους. Η γενετική είναι ο κλάδος της βιολογίας που ασχολείται με την μελέτη της κληρονομικότητας από γονέα σε απόγονο. Ακόμη, η οικολογία είναι ο κλάδος που ασχολείται με την αλληλεξάρτηση και τις συνήθειες διαφορετικών πληθυσμών.

Τέλος, ως επιστήμες που μελετούν έμβιους οργανισμούς (life sciences) η γεωπονική, η κτηνιατρική και η ιατρική είναι εφαρμοσμένες βιολογικές επιστήμες.<sup>[2,1]</sup>

Ο άνθρωπος αισθάνθηκε από την αρχαιότητα την ανάγκη να εξηγήσει και να κατανοήσει βιολογικές λειτουργίες και να προφυλαχθεί από τις διάφορες ασθένειες. Για πάρα πολλά χρόνια δεν υπήρχε καμία εξήγηση για το πώς οι άνθρωποι ζούσαν και πέθαιναν και έτσι ο άνθρωπος στρεφόταν προς τη θρησκεία για να λάβει τις απαντήσεις που δεν μπορούσε να βρει αλλού.

Με την πάροδο των χρόνων και την πρόοδο της επιστήμης οι άνθρωποι κατάφεραν να κατανοήσουν καλύτερα τον ίδιο τους τον οργανισμό. Έτσι κατάφεραν να αντιμετωπίσουν πολλές ασθένειες και να απαλλαγούν από προκαταλήψεις και φόβους που δέσμευαν τη ζωή τους. Βέβαια ακόμα και σήμερα, παρά την πρόοδο που σημειώθηκε, πολλά μυστήρια της βιολογίας παραμένουν άλυτα.

Στο σημείο αυτό θα προχωρήσουμε σε μια πολύ σύντομη ιστορική αναδρομή των βασικότερων γεγονότων στην εξέλιξη της κυτταρικής και της μοριακής βιολογίας.

- ✓ **1655:** Για πρώτη φορά χρησιμοποιείται ο όρος «κύτταρο» για να περιγράψει μικρούς πόρους σε τομές φελλού.
- ✓ **1665:** Ανακάλυψη του μικροσκοπίου.
- ✓ **1838:** Παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά κύτταρα.
- ✓ **1859:** Διατυπώνεται η θεωρία εξέλιξης του Δαρβίνου.
- ✓ **1860:** Ο Paster ανακαλύπτει ότι τα κύτταρα διαιρούνται.
- ✓ **1865:** Διατυπώνεται η θεωρία της φυσικής επιλογής του Mentel.
- ✓ **1879:** Ο Flemming περιγράφει τη συμπεριφορά των χρωμοσωμάτων κατά τη μίτωση.
- ✓ **1953:** Οι Watson και Crick ανακαλύπτουν την ελικοειδή δομή του DNA.
- ✓ **1960:** Γίνεται η πρώτη λεπτομερής περιγραφή της δομής μιας πρωτεΐνης (μυοσφαιρίνη).
- ✓ **1982:** Ο Weinberg ανακαλύπτει γονίδια καρκίνου.
- ✓ **1988:** Ξεκινά το πρόγραμμα για την πλήρη αποκωδικοποίηση του ανθρώπινου γονιδιώματος (Human Genome Project).
- ✓ **2003:** Πρώτη πλήρης καταγραφή του ανθρώπινου γονιδιώματος.

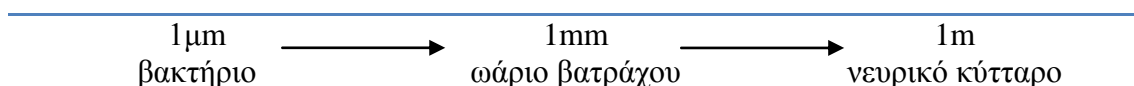
Το πρόγραμμα για την αποκωδικοποίηση του ανθρώπινου γονιδιώματος (Human Genome Project, HGP) είναι μια πολυεθνική προσπάθεια με πρωταρχικό στόχο τον καθορισμό της αλληλουχίας όλων των νουκλεοτιδίων στο ανθρώπινο DNA. Παράλληλα, το πρόγραμμα περιλαμβάνει την ταυτοποίηση και χαρτογράφηση των περίπου 20.000 με 25.000 γονιδίων που αποτελούν το ανθρώπινο γονιδίωμα, τόσο από δομική, όσο και από λειτουργική άποψη.

Στο πρόγραμμα αυτό συμμετείχαν πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα κυρίως από τις Η.Π.Α., το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γαλλία, τη Γερμανία και την Ιαπωνία. Το κόστος του προγράμματος ανέρχεται στα 3 δισεκατομμύρια δολάρια και χρηματοδοτήθηκε από την κυβέρνηση των Η.Π.Α..

Ένα πρώτο προσχέδιο του ανθρώπινου γονιδιώματος δημοσιεύθηκε το 2000 και ένα πλήρες σχέδιο τον Απρίλιο του 2003. Πιο λεπτομερείς και πλήρεις αναλύσεις συνεχίζουν να δημοσιεύονται μέχρι σήμερα.<sup>[2.1]</sup>

Γνωρίζουμε ότι κάθε έμβιος οργανισμός αποτελείται από ένα ή περισσότερα κύτταρα. Το κύτταρο αποτελεί τη βασική δομική μονάδα των οργανισμών, αφού είναι το μικρότερο δυνατό σύστημα με αυτόνομη και ευδιάκριτη συμπεριφορά και λειτουργία. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα κύτταρα έχουν τη δυνατότητα να διαιρούνται στα δύο αντιγράφοντας τον εαυτό τους. Επίσης, όλα τα κύτταρα προστατεύονται και διαχωρίζονται από το περιβάλλον τους τουλάχιστον με μια μεμβράνη, η οποία περιέχει διαλυμένες στο εσωτερικό της όλες τις απαραίτητες χημικές ουσίες.

Πέρα από αυτές τις γενικές ομοιότητες, οι οποίες δεν ισχύουν και πάντα, τα κύτταρα εμφανίζονται σε πολύ μεγάλη ποικιλία από κάθε άποψη. Υπάρχουν κύτταρα που είναι αυτόνομοι οργανισμοί, υπάρχουν και οργανισμοί που αποτελούνται από εκατομμύρια κύτταρα. Επίσης, υπάρχουν κύτταρα «γενικής χρήσης» που επιτελούν όσο το δυνατόν περισσότερες εργασίες και υπάρχουν και κύτταρα που έχουν διαφοροποιηθεί από μια αρχική μορφή και είναι απόλυτα εξειδικευμένα σε μια συγκεκριμένη λειτουργία. Ακόμα, σε ότι αναφορά το μέγεθος ένα μονοκύτταρο βακτήριο μπορεί να έχει μέγεθος μόλις μερικά μικρά, ενώ το ωάριο του βατράχου είναι κυκλικό με διάμετρο μερικών χιλιοστών και τα νευρικά κύτταρα στο ανθρώπινο σώμα, αν και έχουν πολύ μικρό πάχος, το μήκος τους μπορεί να φτάνει μέχρι και μερικά μέτρα.



Πέρα από την μεγάλη ποικιλία που παρουσιάζουν τα κύτταρα στην εμφάνιση και στις λειτουργίες, υπάρχουν εντυπωσιακές ομοιότητες που αποδεικνύουν ότι όλα τα έμβια όντα έχουν παρόμοια υπόσταση. Μια βασική ομοιότητα αποτελεί το γεγονός ότι σε όλα τα έμβια όντα ο γενετικός κώδικας (τα γονίδια) αποθηκεύεται σε μόρια DNA. Επίσης, σε κάθε κύτταρο το DNA δομείται από τις ίδιες τέσσερις βασικές μονάδες, τα νουκλεοτίδια, τα οποία παρατάσσονται με διαφορετικό τρόπο για να μεταδώσουν διαφορετική πληροφορία. Με τη σειρά του, το DNA σε κάθε κύτταρο μεταγράφεται από το RNA, το οποίο είναι επίσης ένα σύνολο τεσσάρων απλούστερων δομικών μονάδων. Στη συνέχεια το RNA μεταφράζεται και έτσι παράγεται η τεράστια ποικιλία από πρωτεΐνες που καθορίζουν τις λειτουργίες του κυττάρου. Όμως και οι πρωτεΐνες δεν είναι τίποτα περισσότερο από τον συνδυασμό 20 διαφορετικών δομικών μονάδων, οι οποίες ονομάζονται αμινοξέα. Η διαφορετική αλληλουχία των αμινοξέων προσδίδει τις διαφορετικές ιδιότητες σε κάθε πρωτεΐνη, αλλά τα αμινοξέα είναι τα ίδια σε όλους τους έμβιους οργανισμούς.



Με βάση τα όσα είδαμε παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το να εμβαθύνουμε σε κάθε είδος κυττάρου ξεχωριστά είναι επίπονο. Αντίθετα, μπορούμε να μελετήσουμε τους κοινούς μηχανισμούς και να έχουμε μια γενική εικόνα για την λειτουργία όλων των κυττάρων. Για το λόγο αυτό και εμείς στις επόμενες παραγράφους θα εστιάσουμε κυρίως στο DNA και τις πρωτεΐνες για την ερμηνεία και περιγραφή των διαφόρων λειτουργιών των κυττάρων.

Στην παράγραφο αυτή, μιλώντας γενικά για τη δομική μονάδα της ζωής, το κύτταρο, θα εξετάσουμε συνοπτικά τη δομή της κυτταρικής μεμβράνης και τις λειτουργίες της. Επίσης θα πραγματοποιήσουμε μια συνοπτική παρουσίαση των κυττάρων χωρίζοντάς τα σε δύο μεγάλες κατηγορίες με κριτήριο την ύπαρξη ή μη πυρήνα. Προκαρυωτικά ονομάζονται τα κύτταρα με την απλούστερη δυνατή δομή, τα οποία δεν περιέχουν πυρήνα, ενώ ευκαρυωτικά είναι τα κύτταρα τα οποία περιέχουν στο εσωτερικό τους πυρήνα. Τέλος, θα κάνουμε μια σύντομη παρουσίαση οργανισμών τους οποίους μελετούν οι επιστήμονες και θεωρούνται πρότυπα μεγάλων οικογενειών έμβιων οργανισμών.<sup>[2,2]</sup>

## Κυτταρική μεμβράνη

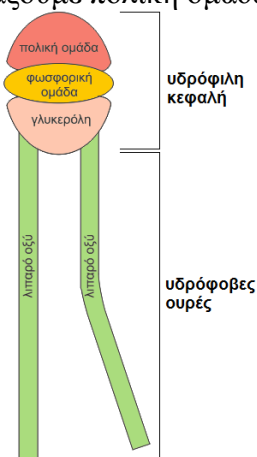
Τα δομικά στοιχεία της κυτταρικής μεμβράνης είναι τα λιπαρά οξέα (fatty acids). Τα μόρια αυτά αποτελούνται από δύο διακριτές περιοχές: Μια μακριά υδρογονανθρακική αλυσίδα ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\dots-\text{CH}_3$ ) η οποία είναι **υδρόφοβη** και μια κεφαλή καρβοξυλικού οξέως ( $-\text{COOH}$ ) η οποία είναι εξαιρετικά **υδρόφιλη**.

Αν η υδρογονανθρακική αλυσίδα περιέχει μόνο απλούς δεσμούς, τότε λέμε ότι τα λιπαρά οξέα είναι κορεσμένα (π.χ. βούτυρο). Αν περιέχονται και πολλαπλοί δεσμοί, δηλαδή ( $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\dots-\text{CH}=\text{CH}-\dots-\text{CH}_3$ ), τότε τα λιπαρά οξέα είναι ακόρεστα, οι αλυσίδες που σχηματίζονται είναι «στρεβλές» και δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλός βαθμός συμπίκνωσης, οπότε έχουμε ρευστή μορφή (π.χ. λάδι).

Τα λιπαρά οξέα αποθηκεύονται στον οργανισμό ως «τριακυλογλυκερόλες», δηλαδή ομάδες από τρεις αλυσίδες λιπαρών οξέων των οποίων οι καρβοξυλικές κεφαλές συνδέονται με ένα μόριο γλυκερόλης.

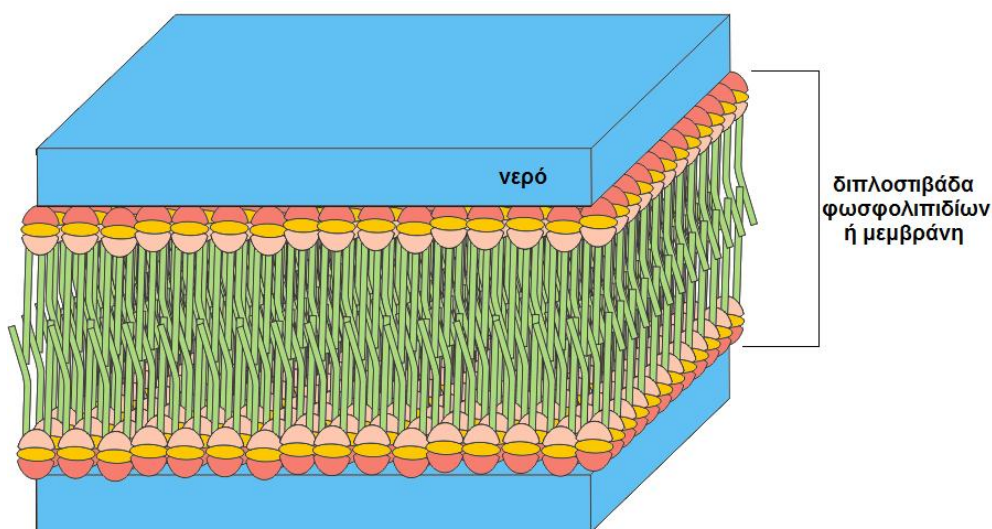
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{OH} \\ \text{HC} - \text{OH} \\ \text{H}_2\text{C} - \text{OH} \end{array}$	γλυκερόλη
--	-----------

Τα λιπαρά οξέα είναι πολύ σημαντικά για έναν οργανισμό, όχι μόνο ως αποθέματα ενέργειας, αλλά και ως δομικές μονάδες των κυτταρικών μεμβρανών. Η μεμβράνη ενός κυττάρου αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από φωσφολιπίδια, τα οποία είναι μικρά μόρια αποτελούμενα κατά βάση από λιπαρά οξέα και γλυκερόλη. Αντίθετα με τις τριακυλογλυκερόλες, στην περίπτωση αυτή η γλυκερόλη συνδέεται με δύο αλυσίδες λιπαρών οξέων και στη «θέση» που απομένει συνδέεται μια υδρόφιλη φωσφορική ομάδα, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με μια μικρή υδρόφιλη ένωση την οποία ονομάζουμε πολική ομάδα.



Εικόνα 2.1: Μόριο φωσφολιπιδίου

Εξαιτίας της αμφιπολικής τους φύσης (υδρόφιλη κεφαλή με υδρόφοβες ουρές), τα φωσφολιπίδια έχουν την ιδιότητα να σχηματίζουν μεμβράνες. Όταν τα φωσφολιπίδια βρεθούν σε νερό με ελεύθερη επιφάνεια, τότε αμέσως ανέρχονται στην επιφάνεια, απλώνονται και σχηματίζουν μια στιβάδα. Οι υδρόφιλες κεφαλές διατάσσονται προς το νερό και οι υδρόφοβες ουρές προς τον αέρα. Αν δεν υπάρχει κάποια ελεύθερη επιφάνεια, στο εσωτερικό του νερού, μπορούν να συνδυαστούν δύο διαφορετικές στιβάδες, ενώνοντας μεταξύ τους τις υδρόφοβες ουρές. Έτσι σχηματίζεται μια διπλοστιβάδα λιπιδίων (lipid bilayer) που αποτελεί και την αρχή όλων των μεμβρανών.



Εικόνα 2.2: Μembrάνη

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι κάποια λιπίδια της κυτταρικής μεμβράνης περιέχουν ένα ή περισσότερα σάκχαρα αντί της φωσφορικής ομάδας. Αυτά ονομάζονται γλυκολιπίδια και παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενδοκυττάρια σηματοδότηση.<sup>[2,3]</sup>

## **Το προκαρυωτικό κύτταρο**

Το χαρακτηριστικό των προκαρυωτικών κυττάρων είναι όπως είδαμε η απουσία πυρήνα από το εσωτερικό τους. Το βασικότερο παράδειγμα προκαρυωτικών κυττάρων αποτελούν τα βακτήρια, τα οποία έχουν την απλούστερη δυνατή δομή και έτσι προσεγγίζουν περισσότερο μια πρωταρχική μορφή ζωής. Μάλιστα η παρουσία των βακτηρίων χρονολογείται μέχρι και 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν.

Τα βακτήρια δεν περιέχουν καθόλου οργανίδια, ούτε και πυρήνα φυσικά, ενώ συχνά φέρουν ένα ανθεκτικό προστατευτικό περίβλημα, το οποίο ονομάζεται κυτταρικό τοίχωμα (cell wall). Κάτω από το κυτταρικό τοίχωμα συναντάμε την κυτταρική μεμβράνη, η οποία περικλείει έναν μοναδικό χώρο ο οποίος περιέχει ένα διάλειμμα με όλα τα απαραίτητα στοιχεία του κυττάρου συμπεριλαμβανομένου του DNA.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των βακτηρίων είναι η ταχύτητα με την οποία αναπαράγονται διαιρούμενα στα δύο. Σε ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας και με άφθονη τροφή, ένα βακτήριο μπορεί να διπλασιαστεί μέσα σε περίπου 20 λεπτά. Έτσι μέσα σε 11 ώρες και θεωρώντας συνεχείς διπλασιασμούς, από 1 βακτήριο μπορούμε να πάρουμε 5 δισεκατομμύρια απογόνους.

Εξαιτίας ακριβώς της ιδιότητάς τους να αναπαράγονται πολύ γρήγορα, τα βακτήρια εξελίσσονται και εξίσου γρήγορα. Αυτό έχει σαν συνέπεια να αποκτούν συνεχώς την ικανότητα να χρησιμοποιούν νέες πηγές τροφής, αλλά και να προσαρμόζονται συνεχώς ακόμα και στο πιο ακραίο περιβάλλον. Έτσι μπορούμε να βρούμε βακτήρια κάτω από μια μεγάλη ποικιλία συνθηκών, μέσα σε ηφαίστεια, σε τοξικό περιβάλλον ή στο εσωτερικό άλλων έμβιων οργανισμών.

Από τα βακτήρια, που είναι η πολυπληθέστερη ομάδα έμβιων οργανισμών στον πλανήτη, προέρχεται πληθώρα ασθενειών, όπως ο στρεπτόκοκκος, η σαλμονέλα και η σύφιλη. Από την άλλη πλευρά όμως τα βακτήρια έχουν και σημαντικό μερίδιο ευθύνης στη συνέχιση της ζωής. Πέρα από την συμβολή τους στη διατήρηση της καλής υγείας του ξενιστή τους, όταν ζουν μέσα σε άλλους οργανισμούς και αποτελούν μέρος της χλωρίδας αυτού, τα βακτήρια παίζουν και θεμελιώδη ρόλο στη διαχείριση των ανόργανων υλικών.

Υπάρχουν βακτήρια που ζουν αποκλειστικά με ανόργανες ουσίες, όπως το άζωτο και το οξυγόνο του αέρα, το υδρογόνο, το φώσφορο και το θείο από το νερό και τα διάφορα άλατα, ενώ τον απαραίτητο άνθρακα τον προσλαμβάνουν μόνο από το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας. Από τις οργανικές ουσίες που παράγουν τα κύτταρα αυτά χρησιμοποιώντας μόνο ανόργανες ουσίες, εξαρτάται η ζωή πολλών άλλων οργανισμών στον πλανήτη.

---

## Το ευκαρυωτικό κύτταρο

---

Τα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι γενικά μεγαλύτερα και πιο περίπλοκα στη μορφή από τα προκαρυωτικά κύτταρα. Μπορεί να τα συναντήσουμε ως αυτόνομους οργανισμούς (π.χ. αμοιβάδες, ζυμομύκητες κ.α.) ή να σχηματίζουν πολύπλοκους πολυκύτταρους οργανισμούς. Σε κάθε περίπτωση όλοι οι σύνθετοι πολυκύτταροι οργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των φυτών, των ζώων και των μυκήτων, σχηματίζονται από ευκαρυωτικά κύτταρα.

Επίσης, τα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι κατά πολύ μεταγενέστερα των προκαρυωτικών, με το πρώτο κύτταρο να χρονολογείται στα 1,5 δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Βέβαια η πολύπλοκη δομή του ευκαρυωτικού κυττάρου αποτελεί το προϊόν μακράς εξέλιξης και τα πρώτα ευκαρυωτικά κύτταρα μάλλον δεν έμοιαζαν ιδιαίτερα με τους απογόνους τους.

Όπως είδαμε, τα ευκαρυωτικά κύτταρα περιέχουν έναν διακριτό πυρήνα ο οποίος διαχωρίζεται από το υπόλοιπο κύτταρο με το πυρηνικό περίβλημα (nuclear envelope), δηλαδή δυο ομόκεντρες μεμβράνες. Ο πυρήνας περιέχει το DNA, το πολυμερές που περιέχει όλη την απαραίτητη πληροφορία για τη ζωή του κυττάρου.

Εκτός από τον πυρήνα, το ευκαρυωτικό κύτταρο περιέχει πολλά ακόμα οργανίδια και διατάξεις, όλα εξειδικευμένα σε ένα σκοπό. Ανάμεσα στα πιο σημαντικά οργανίδια ξεχωρίζουμε τα μιτοχόνδρια (mitochondria), τα οποία είναι οι θέσεις παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του κυττάρου. Τα μιτοχόνδρια καταναλώνουν οξυγόνο για να οξειδώσουν τις τροφές και έτσι παράγουν την τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) που είναι το βασικό καύσιμο του κυττάρου. Από την όλη δραστηριότητα απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα και έτσι η διαδικασία αυτή ονομάζεται κυτταρική αναπνοή.

Για τα φυτά υπάρχει και μια άλλη σημαντική κατηγορία οργανιδίων, οι χλωροπλάστες (chloroplasts). Στα οργανίδια αυτά συντελείται η φωτοσύνθεση.

Είναι γνωστό ότι όλα τα κύτταρα προέρχονται από έναν κοινό αρχαίο πρόγονο και για το λόγο αυτό κάποιες θεμελιώδεις ιδιότητές τους διατηρήθηκαν κατά την εξέλιξή τους σε όλα τα είδη των κυττάρων μέχρι και σήμερα. Έτσι όταν μελετάμε έναν οργανισμό και αποκτούμε βαθύτερες γνώσεις πάνω σε αυτόν, στην πραγματικότητα οδηγούμαστε στην κατανόηση και πολλών άλλων οργανισμών συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου.

Οι πρότυποι οργανισμοί είναι διάφοροι οργανισμοί στους οποίους έχουν επιλέξει κατά καιρούς να εστιάσουν το ενδιαφέρον τους οι βιολόγοι. Οι οργανισμοί αυτοί συνήθως δεν είναι ιδιαίτεροι και δεν παρέχουν περισσότερη πληροφορία από άλλους, αλλά τους επιλέγουν οι επιστήμονες γιατί είναι ευκολότερο να μελετηθούν στο εργαστήριο. Κάποια από τα πλεονεκτήματα των οργανισμών αυτών μπορεί να είναι ότι αναπαράγονται γρήγορα και έτσι προσφέρονται για πειράματα γενετικών παρεμβάσεων, επίσης μπορεί άλλοι να είναι διαφανείς και να μας επιτρέπουν να δούμε άμεσα τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων μας στους ιστούς και τα όργανά τους κ.λπ.. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε συνοπτικά ορισμένους πρότυπους οργανισμούς στους οποίους έχουν εστιάσει την έρευνά τους οι βιολόγοι.

- Προκαρυωτικό κύτταρο: το βακτήριο *Escherichia coli*

Το βακτήριο *Escherichia coli*, ή για συντομία *E. coli*, συγκεντρώνει όλα τα φώτα της δημοσιότητας στον κόσμο των βακτηρίων. Στον τομέα της μοριακής βιολογίας οι γνώσεις μας για το βακτήριο αυτό είναι πολύ περισσότερες από ότι για οποιοδήποτε άλλο έμβιο οργανισμό. Επίσης, η μελέτη που έγινε πάνω στο *E. coli* για τους μηχανισμούς των κυττάρων, όπως η αντιγραφή του DNA και η αποκωδικοποίηση των γενετικών πληροφοριών προσέφερε θεμελιώδεις γνώσεις. Από το βακτήριο αυτό έχουμε σήμερα τις περισσότερες πληροφορίες πάνω στη λειτουργία των κυττάρων, ενώ ανάλογες έρευνες που έγιναν αργότερα επιβεβαίωσαν ότι οι ίδιες αρχές εφαρμόζονται και στα κύτταρα πολυπλοκότερων οργανισμών όπως ο άνθρωπος.

Το βασικότερο πλεονέκτημα του *E. coli*, ως πρότυπου οργανισμού, είναι ότι αναπαράγεται ταχύτατα και σε ποικίλες χημικές συνθήκες. Το φυσικό του περιβάλλον διαβίωσης είναι το έντερο του ανθρώπου και άλλων σπονδυλωτών ζώων.

Σε ότι αναφορά το γενετικό υλικό του, το βακτήριο αυτό διαθέτει ένα μοναδικό μόριο DNA, το οποίο αποτελείται από 4,6 εκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων. Από αυτό το γενετικό υλικό συντίθενται 4.300 διαφορετικά είδη πρωτεϊνών.

- Ευκαρυωτικό κύτταρο: ο ζυμομύκητας *Saccharomyces cerevisiae*

Ο ζυμομύκητας *Saccharomyces cerevisiae*, ή για συντομία *S. cerevisiae*, είναι περισσότερο γνωστός ως η μαγιά της μύρας και χρησιμοποιείται εδώ και πάρα πολλά χρόνια από ζυθοποιούς, οινοποιούς και αρτοποιούς. Ο *S. cerevisiae* είναι ένας μικρός μονοκύτταρος μύκητας και το πλεονέκτημά του είναι ότι, όπως και το *E. coli*, είναι απλός, ανθεκτικός και αναπαράγεται γρήγορα. Έτσι προσφέρεται για να μελετηθεί από τους βιολόγους ως ο πρότυπος ευκαρυώτης.

Όπως και άλλοι μύκητες, ο *S. cerevisiae* διαθέτει άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα, είναι σχετικά ακίνητος και περιέχει μιτοχόνδρια αλλά όχι χλωροπλάστες. Όταν υπάρχει άφθονη τροφή, ο μύκητας αυτός αναπαράγεται εξίσου γρήγορα με ένα βακτήριο.

Σε ότι αναφορά το γενετικό του υλικό, ο μύκητας αυτός διαθέτει DNA με περίπου 12 εκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων, δηλαδή περίπου 2,5 φορές περισσότερο γενετικό υλικό από το *E. coli*. Έτσι μπορούν να πραγματοποιηθούν με αρκετή επιτυχία και πειράματα γενετικής ανάλυσης.

Λαμβάνοντας σαν μέτρο σύγκρισης άλλα ευκαρυωτικά κύτταρα, ο *S. cerevisiae* έχει μικρό γονιδίωμα. Παρ' όλα αυτά επιτελεί όλες τις βασικές λειτουργίες ενός ευκαρυωτικού κυττάρου και μας δίνει πληθώρα πληροφοριών, πολλές από τις οποίες είναι βασικής σημασίας για την κατανόηση πολυπλοκότερων κυττάρων. Κυριότερο παράδειγμα αποτελεί η συμβολή στην κατανόηση του κύκλου της κυτταρικής διαίρεσης, όπου μέσα από μια ακολουθία διεργασιών ο πυρήνας και τα άλλα συστατικά του κυττάρου διπλασιάζονται, διαχωρίζονται και μορφοποιούνται κατάλληλα για να δημιουργήσουν δύο θυγατρικά κύτταρα.

Μάλιστα, αυτός ο κύκλος της κυτταρικής διαίρεσης και ο μηχανισμός που τον ελέγχει, διατηρούνται τόσο αναλλοίωτοι ώστε να παρουσιάζουν εντυπωσιακές ομοιότητες παρά την εξέλιξη των ειδών. Έτσι, αν από ένα μεταλλαγμένο κύτταρο *S. cerevisiae* αφαιρέσουμε ένα γονίδιο απαραίτητο για την κυτταρική διαίρεση, η αντικατάστασή του από το αντίστοιχο ανθρώπινο γονίδιο μπορεί να επιδιορθώσει τη βλάβη.

- Φυτά: το αναριχόμενο ζιζάνιο *Arabidopsis thaliana*

Το *Arabidopsis thaliana* είναι ένα μικρό ζιζάνιο το οποίο έχει επιλεγεί από τους βιολόγους ως πρότυπος οργανισμός για όλα τα ανθοφόρα φυτά. Μάλιστα η στενή εξελικτική σχέση ανάμεσα σε όλα τα ανθοφόρα φυτά, τα οποία διαχωρίστηκαν πριν από μόλις 200 εκατομμύρια χρόνια, κάνει τη μελέτη ενός και μόνο απλού είδους ιδιαίτερα αποτελεσματική. Οι πληροφορίες που παίρνουμε από αυτό το μικρό ζιζάνιο μας προσφέρουν ενδείξεις σχετικά με την ανάπτυξη και τη φυσιολογία πολλών φυτών στα οποία βασίζεται η επιβίωση του ανθρώπινου είδους.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του *Arabidopsis*, που το κάνουν ιδανικό σαν πρότυπο οργανισμό, είναι ότι έχει την ικανότητα να αυξάνει σε εσωτερικό χώρο και μπορεί να αποκτήσει χιλιάδες απογόνους μέσα σε 8 με 10 εβδομάδες.

Σε ότι αναφορά τη γενετική του πληροφορία, το γονιδίωμα του *Arabidopsis* αποτελείται από περίπου 110 εκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων, ενώ η αλληλουχία τους είναι γνωστή στο σύνολό της.

- Ζώα: μια μύγα, ένα σκουλήκι, ένα ποντίκι και ο άνθρωπος

Αν απαριθμήσουμε τα διάφορα είδη ζώων, τα περισσότερα από αυτά θα είναι έντομα και για το λόγο αυτό η μελέτη των εντόμων μπορεί να μας δώσει πολύ σημαντικές πληροφορίες για την εξέλιξη της ζωής. Από τα διάφορα έντομα, η βιολογική έρευνα επικεντρώνεται σε μια μικρή μύγα με το όνομα *Drosophila melanogaster*, ή για συντομία *Drosophila*. Πάνω σε αυτή τη μικρή μύγα έχει θεμελιωθεί κατά ένα μεγάλο βαθμό η κλασική γενετική τα τελευταία 80 χρόνια.



Έχει αποδειχθεί ότι τα γονίδια της *Drosophila* παρουσιάζουν εντυπωσιακή ομοιότητα με τα γονίδια του ανθρώπου. Για το λόγο αυτό η *Drosophila* χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό για τη μελέτη της ανθρώπινης ανάπτυξης αλλά και για τη μελέτη διαφόρων ανθρώπινων ασθενειών. Σε ότι αναφορά το γονιδίωμά της, το DNA της *Drosophila* περιέχει 185 εκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων, τα οποία κωδικοποιούν λίγο περισσότερα από 13.000 γονίδια για την παραγωγή των αντίστοιχων πρωτεϊνών.

Ένα άλλο πολύτιμο εργαλείο για την μελέτη των διεργασιών που συμβαίνουν στα ανθρώπινα κύτταρα είναι ο νηματώδης σκώληκας *Caenorhabditis elegans*, ή για συντομία *C. elegans*. Ο σκώληκας αυτός, αν και μικρότερος και απλούστερος οργανισμός από την μύγα *Drosophila*, είναι εξίσου σημαντικός στην έρευνα της γενετικής, αφού φαίνεται ότι για το 70% των ανθρώπινων πρωτεϊνών υπάρχει σε αυτόν κάποια ομόλογη πρωτεΐνη.

Σε ότι αναφορά το γονιδίωμα του *C. elegans*, το DNA του αποτελείται από 97 εκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων, τα οποία κωδικοποιούν 19.000 γονίδια για την παραγωγή των αντίστοιχων πρωτεϊνών. Επίσης γνωρίζουμε ότι ο *C. elegans* αναπτύσσεται με πολύ μεγάλη ακρίβεια, από ένα γονιμοποιημένο ωάριο σε ένα ενήλικο σκουλήκι με ακριβώς 959 σωματικά κύτταρα.

Από την άλλη πλευρά, στα πιο σύνθετα ζώα του πλανήτη ανήκουν τα θηλαστικά τα οποία έχουν εκατομμύρια κύτταρα και πολύ μεγαλύτερη ποσότητα DNA στον πυρήνα των κυττάρων τους. Ο πρότυπος οργανισμός για τα θηλαστικά θεωρείται το ποντίκι, αφού αναπαράγεται γρήγορα, είναι εύκολο να μελετηθεί και σχεδόν για κάθε γονίδιο του ανθρώπου υπάρχει ένα ομόλογο στον ποντικό, με παρόμοια αλληλουχία DNA και λειτουργία.

Σε ότι αναφορά τον άνθρωπο, το DNA μας αποτελείται από περίπου 3 δισεκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων, τα οποία κωδικοποιούν 30.000 γονίδια για την παραγωγή ενός αντίστοιχου αριθμού πρωτεϊνών.

Βέβαια όσους πρότυπους οργανισμούς και αν μελετάμε στόχος μας είναι να απαντήσουμε στα ερωτήματα σχετικά με τον άνθρωπο. Φυσικά, μελέτες γίνονται και σε ανθρώπινα κύτταρα και μάλιστα με αυξανόμενο ρυθμό, αλλά παρ' όλα αυτά οι πληροφορίες που μας διαφεύγουν ακόμα είναι πάρα πολλές. Ο στόχος και οι ελπίδες της μοριακής βιολογίας και της γενετικής εστιάζεται γενικά στη χρήση των πρότυπων οργανισμών και την παράλληλη μελέτη του ανθρώπου, έτσι ώστε να αποκρυπτογραφηθούν οι μηχανισμοί της ζωής, όπως η ανάπτυξη ενός πλήρους οργανισμού από ένα και μόνο γονιμοποιημένο κύτταρο.<sup>[2,2]</sup>

Πίνακας 2.1: Αριθμός ζευγών νουκλεοτιδίων σε διάφορα είδη

Είδος	Αριθμός ζευγών νουκλεοτιδίων
<i>E. coli</i>	$4,60 \cdot 10^6$
<i>S. cerevisiae</i>	$1,20 \cdot 10^7$
Αμοιβάδα	$2,00 \cdot 10^{11}$
<i>Arabidopsis</i>	$1,10 \cdot 10^8$
Φτέρη	$2,50 \cdot 10^{11}$
<i>Drosophila</i>	$1,85 \cdot 10^8$
<i>C. elegans</i>	$9,70 \cdot 10^7$
Άνθρωπος	$3,00 \cdot 10^9$

Το θεμέλιο λίθο για την διατήρηση της ζωής αποτελεί η δυνατότητα που έχουν τα κύτταρα να αποθηκεύουν με ασφάλεια, να ανακαλούν, να μεταφράζουν και εν τέλει να χρησιμοποιούν τις γενετικές τους πληροφορίες. Οι γενετικές πληροφορίες είναι κληρονομικές και μεταβιβάζονται από ένα κύτταρο στα θυγατρικά του, όταν συντελείται η κυτταρική διαίρεση. Επίσης, οι γενετικές πληροφορίες μεταβιβάζονται και από τη μια γενιά στην επόμενη μέσω των αναπαραγωγικών κυττάρων των οργανισμών. Αρχικά και με την εμφάνιση της γενετικής, οι επιστήμονες θεώρησαν ότι η γενετική πληροφορία αποθηκεύεται σε κάθε ζωντανό κύτταρο ως γονίδια (genes), χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί η χημική σύσταση των γονιδίων ή οι μηχανισμοί έκφρασής τους.

Επίσης, για πολλά χρόνια οι επιστήμονες δεν μπορούσαν να προσδιορίσουν τη χρησιμότητα ενός τόσο μεγάλου πολυμερούς μέσα στο κύτταρο, όπως το DNA. Αρχικά θεωρήθηκε ότι δεν είχε κάποια σημαντική συνεισφορά, αλλά απλώς βοηθούσε στη διατήρηση της δομής και του σχήματος του κυττάρου. Αυτή η άποψη άλλαξε άρδην τη δεκαετία του 1940, οπότε αναγνωρίστηκε το δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DeoxyriboNucleic Acid, DNA) ως ο πιθανότερος φορέας των γενετικών πληροφοριών.

Η ανακάλυψη αυτή ήταν θεμελιώδους σημασίας, αφού προσδιορίστηκε το στοιχείο αυτό του κυττάρου, το οποίο καθορίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε οργανισμού, αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε είδους. Επίσης, κατά τη δεκαετία του 1940, πειράματα σε απλούς μύκητες απέδειξαν ότι οι γενετικές πληροφορίες αποτελούν κυρίως τις οδηγίες για την παρασκευή των πρωτεϊνών στο κύτταρο. Με τη σειρά τους οι πρωτεΐνες είναι τα μακρομόρια εκείνα που ευθύνονται και καθορίζουν όλες τις λειτουργίες και ιδιότητες των κυττάρων. Με τις πρωτεΐνες και τη συμβολή τους στο μηχανισμό της ζωής θα ασχοληθούμε στην επόμενη παράγραφο.

Παρ' ότι όμως το DNA ταυτοποιήθηκε ως ο φορέας των γενετικών πληροφοριών, για αρκετά χρόνια παρέμενε άγνωστος ο μηχανισμός με το οποίο μεταφέρονται οι πληροφορίες αυτές κατά την κυτταρική διαίρεση, αλλά και πώς μεταφράζονται οι γενετικές πληροφορίες στις αντίστοιχες πρωτεΐνες. Το μυστήριο αυτό διαλευκάνθηκε τελικά το 1953 όταν οι James Watson και Francis Crick καθόρισαν τη δομή του DNA.

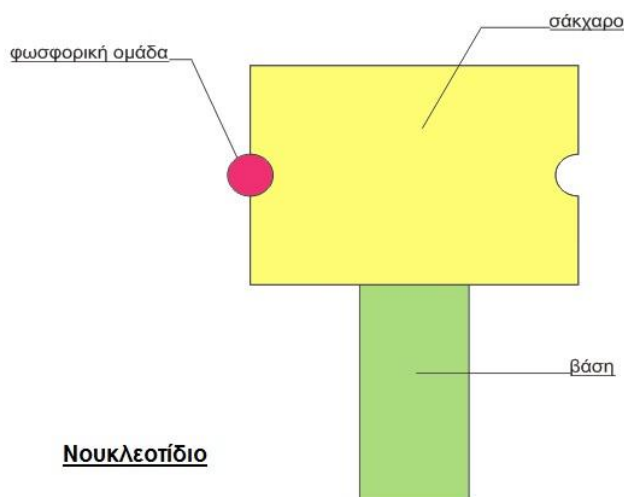
Από το στάδιο της ανακάλυψης της δομής του DNA έχει παρουσιαστεί μια ραγδαία εξέλιξη στις μετρήσεις του DNA. Σταθμό στην εξέλιξη αυτή αποτελεί η πρώτη πλήρης αποκρυπτογράφηση του ανθρώπινου γονιδιώματος. Σήμερα οι μετρήσεις του DNA αποτελούν σχεδόν εμπορικό προϊόν με το κόστος τους να μειώνεται συνεχώς και το χρόνο μέτρησης να μειώνεται ραγδαία. Η μέτρηση του DNA εμπίπτει στην κατηγορία των Genomics και θα εξεταστεί αναλυτικά στο κεφάλαιο των βιολογικών μετρήσεων.

Στην παράγραφο αυτή θα ασχοληθούμε περισσότερο με την παρουσίαση της δομής του DNA και πώς η δομή αυτή αποτελεί το ιδανικό μέσο για την αποθήκευση των γενετικών πληροφοριών. Επίσης, επειδή όλα τα γονίδια αποτελούνται από DNA θα εξετάσουμε πώς τα γονίδια διατάσσονται πάνω στα μακριά μόρια του DNA. Ακόμα θα εξετάσουμε, χωρίς ιδιαίτερη εμβάθυνση, πώς το DNA σχηματίζει τα χρωμοσώματα και πώς αυτά διαχωρίζονται και συσκευάζονται προστατεύοντας τη γενετική πληροφορία κατά την κυτταρική διαίρεση.

## Δομή του DNA

Αρχικά γνωρίζαμε ότι τα γονίδια, δηλαδή οι βασικές μονάδες της γενετικής πληροφορίας, βρίσκονται στα χρωμοσώματα. Τα χρωμοσώματα είναι νηματοειδής δομές που βρίσκονται στον πυρήνα των ευκαρυωτικών κυττάρων και γίνονται εύκολα διακριτά όταν ξεκινά η διαδικασία της κυτταρικής διαίρεσης. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από DNA και πρωτεΐνες, με το DNA να αποτελεί τον τόπο αποθήκευσης των γονιδίων και όλης της γενετικής πληροφορίας. Στη συνέχεια, καθώς θα εξετάζουμε τη δομή του DNA θα μπορέσουμε να δώσουμε μια πρώτη και σε γενικές γραμμές ερμηνεία της ικανότητάς του να αποθηκεύει τις γενετικές πληροφορίες.

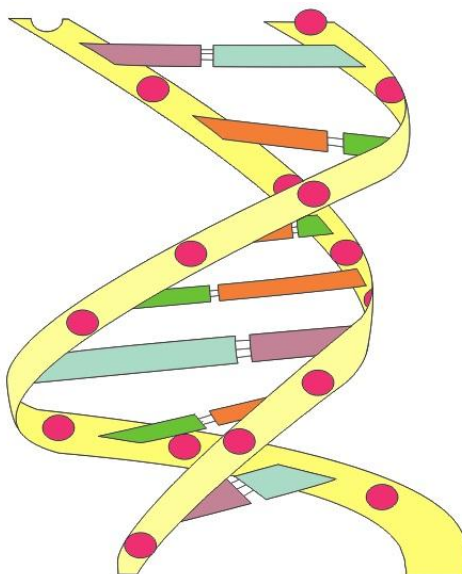
Όπως γνωρίζουμε η δομική μονάδα του DNA είναι το νουκλεοτίδιο. Κάθε νουκλεοτίδιο αποτελείται από μια πεντόζη (σάκχαρο), η οποία συνδέεται με μια ή περισσότερες φωσφορικές ομάδες και μια αζωτούχο βάση. Η πεντόζη του DNA ονομάζεται δεοξυριβόζη και από αυτή παίρνει το όνομά του και ολόκληρο το μόριο (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ). Η βάση κάθε νουκλεοτιδίου μπορεί να είναι η αδενίνη (A), η κυτοσίνη (C), η γουανίνη (G) ή η θυμίνη (T).



Εικόνα 2.3: Νουκλεοτίδιο

Τα νουκλεοτίδια δομούν το DNA καθώς συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Έτσι σχηματίζουν αλυσίδες, όπου εναλλάσσονται φωσφορικές ομάδες και σάκχαρα. Αυτός είναι ο σκελετός του DNA, ενώ οι αζωτούχες βάσεις συνδέονται μόνο με αζωτούχες βάσεις άλλων νουκλεοτιδίων. Δεδομένου ότι η μόνη διάκριση μεταξύ των νουκλεοτιδίων γίνεται ανάλογα με την αζωτούχο βάση που περιλαμβάνουν, πολλές φορές τα νουκλεοτίδια ονομάζονται, και κατ' επέκταση συμβολίζονται, με τα αντίστοιχα ονόματα και σύμβολα των βάσεων (A, C, G και T).

Για να ολοκληρωθεί ένα μόριο DNA χρειάζονται δύο μακρομόρια, δηλαδή δύο πολυνουκλεϊκές αλυσίδες. Κάθε μια από τις δύο αυτές αλυσίδες αναφέρεται και ως αλυσίδα DNA (DNA chain) ή κλώνος DNA (DNA strand). Οι δύο αυτές αλυσίδες περιελίσσονται η μια γύρω από την άλλη και σχηματίζουν τη γνωστή μας διπλή έλικα (double helix). Η συγκράτηση των δύο πολυνουκλεϊκών αλυσίδων στη διπλή έλικα γίνεται με δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των βάσεων στους δύο κλώνους. Με βάση τα παραπάνω λοιπόν, όλες οι βάσεις βρίσκονται στο εσωτερικό της έλικας και ο σακχαροφωσφορικός σκελετός τις περιβάλλει.



Εικόνα 2.4: Διπλή έλικα DNA

Η σύνδεση μεταξύ των βάσεων των διαφορετικών κλώνων δεν γίνεται τυχαία αλλά πάντα σχηματίζονται δύο συγκεκριμένα ζεύγη. Η αδενίνη (A) συνδέεται πάντα και μόνο με τη θυμίνη (T), ενώ η κυττοσίνη (C) συνδέεται πάντα και μόνο με τη γουανίνη (G). Δηλαδή τα ζεύγη είναι πάντα A-T και C-G, ανεξάρτητα με το ποια βάση ανήκει σε ποιόν κλώνο. Η (A) με την (T) ονομάζονται συμπληρωματικές βάσεις, όπως και η (C) με την (G) είναι επίσης συμπληρωματικές μεταξύ τους. Τα ζεύγη των βάσεων (base pairs) προκύπτουν αποκλειστικά με αυτό τον τρόπο, ούτως ώστε να έχουμε την πιο ευνοϊκή, από ενεργειακή άποψη, διάταξη.

Από την παραπάνω παρατήρηση για τον διασύνδεση των βάσεων προκύπτει ότι οι δύο κλώνοι στη διπλή έλικα του DNA είναι πάντα αντιπαράλληλοι (antiparallel). Αυτό σημαίνει ότι ο κάθε κλώνος περιλαμβάνει μια αλληλουχία νουκλεοτιδίων, η οποία είναι ακριβώς συμπληρωματική (complementary) με την αλληλουχία των νουκλεοτιδίων στον άλλο κλώνο. Αυτό έχει τεράστια σημασία για την ασφαλή μεταγραφή και μετάφραση των γενετικών πληροφοριών που περιέχονται στο DNA.

Η κωδικοποίηση της γενετικής πληροφορίας ενός κυττάρου εξαρτάται από την αλληλουχία των νουκλεοτιδίων κατά μήκος του κάθε κλώνου DNA. Μπορούμε να παρομοιάσουμε το κάθε νουκλεοτίδιο (A, T, C και G) ως ένα σύμβολο ή ένα γράμμα κάποιου αλφαβήτου. Έτσι ανάλογα με την σειρά που παίρνουν τα νουκλεοτίδια στο DNA, σχηματίζονται οι διάφορες «λέξεις», δηλαδή τα βιολογικά μηνύματα προς το κύτταρο και ολόκληρο τον οργανισμό. Η διαφορετική αλληλουχία των νουκλεοτιδίων στο DNA δημιουργεί την τεράστια ποικιλία των οργανισμών στον πλανήτη και κάνει τον καθένα από εμάς διαφορετικό.

Ο τρόπος με τον οποίο το DNA επηρεάζει όλη την δομή και λειτουργία ενός οργανισμού σχετίζεται με την παραγωγή των πρωτεϊνών. Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, οι πρωτεΐνες, ανάλογα με τα αμινοξέα από τα οποία αποτελούνται και την τρισδιάστατη δομή τους, αποτελούν τις δομικές μονάδες ενός οργανισμού και ελέγχουν όλες τις λειτουργίες του. Στην πορεία της προόδου της βιολογίας λοιπόν αποδείχτηκε ότι η γραμμική αλληλουχία των νουκλεοτιδίων στο DNA καθορίζει τη γραμμική αλληλουχία των αμινοξέων όλων των πρωτεϊνών, αλλά και το χρόνο και την ποσότητα στην οποία αυτές θα παραχθούν.

Με βάση όσα είδαμε παραπάνω και δεδομένου ότι το DNA περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να ζήσει και να αναπαραχθεί ένας οργανισμός, αντιλαμβανόμαστε ότι απαιτούνται μεγάλες ποσότητες γενετικού υλικού, ακόμα και για απλούς μονοκύτταρους οργανισμούς, πόσο μάλλον για πολυκύτταρους ευκαρυωτικούς, όπως ο άνθρωπος.

Για λόγους προστασίας και λειτουργικότητας λοιπόν το DNA «συσκευάζεται» σε διαφορετικές δομές που ονομάζονται χρωμοσώματα. Τα χρωμοσώματα διπλασιάζονται και διαχωρίζονται στα δύο θυγατρικά κύτταρα κατά τη φάση της κυτταρικής διαίρεσης, με αποτέλεσμα τότε να είναι και πλέον ορατή η μορφή τους. Τα χρωμοσώματα εκτός από το DNA περιέχουν και διάφορες πρωτεΐνες οι οποίες εμπλέκονται στη διαδικασία της «συσκευασίας» και προσφέρουν ανώτερο επίπεδο οργάνωσης.

Τα βακτήρια και γενικά οι προκαρυωτικοί οργανισμοί έχουν ολόκληρο το γενετικό υλικό τους σε ένα μεγάλο κυκλικό μόριο DNA το οποίο συνδέεται με διάφορες πρωτεΐνες και ονομάζεται συχνά «βακτηριακό χρωμόσωμα». Από την άλλη πλευρά οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί έχουν το DNA τους κατανεμημένο σε διάφορα χρωμοσώματα. Συγκεκριμένα, είδαμε ότι το γονιδίωμα του ανθρώπου περιέχει περίπου 3,2 δισεκατομμύρια νουκλεοτίδια και αυτά κατανέμονται σε 24 διαφορετικά χρωμοσώματα.

Όλα τα ανθρώπινα κύτταρα, με εξαίρεση κάποια εξειδικευμένα κύτταρα του οργανισμού (ερυθροκύτταρα, ωάριο, σπερματοζώαριο κ.α.), περιέχουν δύο αντίγραφα από κάθε χρωμόσωμα, τα οποία ονομάζονται ομόλογα χρωμοσώματα. Το ένα αντίγραφο κληροδοτείται από την μητέρα και το άλλο από τον πατέρα του κάθε ατόμου. Τα μόνα χρωμοσώματα τα οποία αποτελούν εξαίρεση και δεν έχουν ομόλογα χρωμοσώματα είναι τα φυλετικά χρωμοσώματα στους άνδρες, όπου κληροδοτείται το χρωμόσωμα Y από τον πατέρα και το χρωμόσωμα X από τη μητέρα τους.

Το σύνολο των 46 χρωμοσωμάτων του ανθρώπου ονομάζεται καρυότυπος. Από την παρατήρηση του καρυότυπου και με εφαρμογή διαφόρων μεθόδων ελέγχου, μπορούν να εντοπιστούν χρωμοσωματικές ανωμαλίες που μπορεί να σχετίζονται με κληρονομικές ασθένειες ή συγκεκριμένες μορφές καρκίνου.

Προφανώς, η πιο σημαντική ιδιότητα των χρωμοσωμάτων είναι ότι φέρουν τα γονίδια. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα γονίδια αποτελούν τμήματα του DNA που το κάθε ένα φέρει τις πληροφορίες για την παρασκευή μιας πρωτεΐνης ή μιας οικογένειας πρωτεϊνών. Επίσης ορισμένα γονίδια μπορεί να φέρουν την πληροφορία για τη δημιουργία ενός μορίου RNA, αφού πολλές φορές ένα μόριο RNA μπορεί να επιτελεί διάφορες λειτουργίες στο κύτταρο.

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των πολύπλοκων ευκαρυωτικών οργανισμών, όπως ο άνθρωπος, είναι ότι τα χρωμοσώματα περιέχουν ανάμεσα στα γονίδια και μεγάλη ποσότητα παρεμβαλλόμενου DNA του οποίου η λειτουργική χρησιμότητα παραμένει αδιευκρίνιστη. Είναι πιθανό ότι η ποσότητα αυτή του DNA προστατεύει τα γονίδια από τυχαίες μεταλλάξεις και ίσως συμμετέχει στους μηχανισμούς έκφρασης της γενετικής πληροφορίας, παρ' όλα αυτά συχνά αναφέρεται και ως άχρηστο DNA (junk DNA).

Γενικά έχουμε δει ότι όσο πιο περίπλοκος είναι ένας οργανισμός, τόσο πιο μεγάλο είναι το γονιδίωμα του, χωρίς όμως να υπάρχει ασφαλής συσχέτιση.<sup>[2,5]</sup>

## 2.4 Πρωτεΐνες

Ο λόγος για τον οποίο μελετάμε τις πρωτεΐνες, είναι ότι αυτές αποτελούν τις δομικές μονάδες του κυττάρου και κατ' επέκταση ολόκληρου του οργανισμού. Χάρη στις πρωτεΐνες είναι δυνατή η εκτέλεση της πλειοψηφίας των λειτουργιών ενός κυττάρου, αλλά και η επικοινωνία των κυττάρων με άλλα κύτταρα και του οργανισμού ολόκληρου με το περιβάλλον του.

Όλες οι πρωτεΐνες, παρ' ότι ανήκουν στην ίδια μεγάλη οικογένεια, έχουν την δυνατότητα να επιτελούν πληθώρα εντελώς διαφορετικών λειτουργιών. Η ικανότητα τους αυτή σχετίζεται άμεσα με τον τεράστιο αριθμό τρισδιάστατων δομών που παρατηρούνται. Έτσι προκύπτει άμεσα ότι η λειτουργία μιας πρωτεΐνης εξαρτάται άμεσα από την τρισδιάστατη δομή της.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μερικά μόνο παραδείγματα λειτουργιών που μπορεί να επιτελούν οι διάφορες πρωτεΐνες στον οργανισμό μας.



Εικόνα 2.5: Παραδείγματα λειτουργίας πρωτεϊνών.



## Δομή πρωτεϊνών

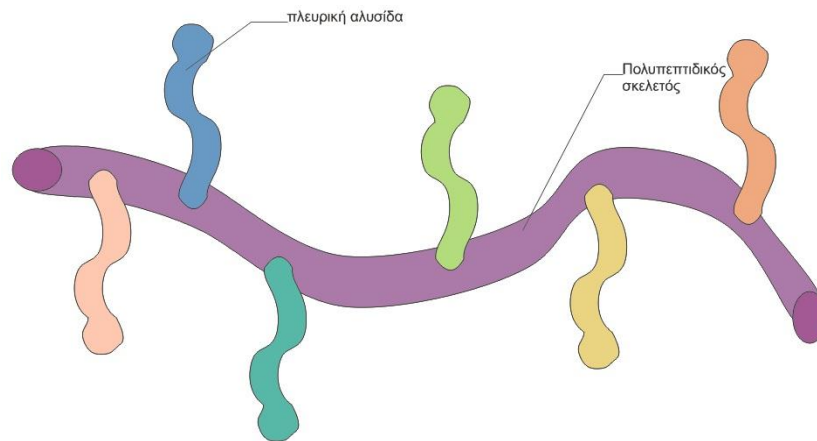
Γνωρίζουμε ότι οι πρωτεΐνες «κατασκευάζονται» από μικρότερα δομικά μόρια, τα οποία ονομάζονται αμινοξέα. Στον ανθρώπινο οργανισμό υπάρχουν είκοσι διαφορετικά αμινοξέα, τα οποία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Από την αλληλουχία των αμινοξέων καθορίζεται η τρισδιάστατη δομή της κάθε πρωτεΐνης και η δομή της πρωτεΐνης με τη σειρά της καθορίζει τη λειτουργία της.

Πίνακας 2.2: Αμινοξέα στον ανθρώπινο οργανισμό.

Αμινοξύ	Σύμβολο
Ασπαρταμικό οξύ	Asp
Γλουταμινικό οξύ	Glu
Αργινίνη	Arg
Λυσίνη	Lys
Ιστιδίνη	His
Ασπαραγίνη	Asn
Γλουταμίνη	Gln
Σερίνη	Ser
Θρεονίνη	Thr
Τυροσίνη	Tyr
Αλανίνη	Ala
Γλυκίνη	Gly
Βαλίνη	Val
Λευκίνη	Leu
Ισολευκίνη	Ile
Προλίνη	Pro
Φαινυλαλανίνη	Phe
Μεθειονίνη	Met
Τρυποφάνη	Trp
Κυστεΐνη	Cys

Κάθε ένα από τα είκοσι παραπάνω αμινοξέα έχει τις δικές του διαφορετικές χημικές ιδιότητες. Για το σχηματισμό μιας πρωτεΐνης τα αμινοξέα συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς, σχηματίζοντας μακριές αλυσίδες. Έτσι, η κάθε πρωτεΐνη προκύπτει από μια μοναδική αλληλουχία αμινοξέων, η οποία είναι η ίδια για κάθε μόριο αυτής της πρωτεΐνης.

Καθώς τα διάφορα αμινοξέα συνδέονται αναμεταξύ τους, προκύπτει μια συνεχής αλληλουχία μορίων, που ονομάζεται πολυπεπτιδικός σκελετός (polypeptide backbone), και κάποιες πλευρικές ομάδες (side chains) που συνδέονται σε αυτόν. Οι πλευρικές ομάδες δεν συμμετέχουν στην κατασκευή του πολυπεπτιδικού σκελετού, αλλά είναι αυτές που δίνουν σε κάθε αμινοξύ μοναδικές ιδιότητες. Κάποιες πλευρικές ομάδες είναι μη πολικές και υδρόφοβες, κάποιες είναι πολικές με αρνητικό φορτίο και κάποιες με θετικό φορτίο. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια σχηματική αναπαράσταση μιας πρωτεΐνης με τον πολυπεπτιδικό σκελετό και τις πλευρικές ομάδες.



Εικόνα 2.6: Τμήμα πρωτεΐνης.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των πρωτεϊνών είναι ότι ο πολυπεπτιδικός σκελετός είναι ιδιαίτερα εύκαμπτος και μπορεί να αναδιπλώνεται. Έτσι λοιπόν άτομα του πολυπεπτιδικού σκελετού ή και άτομα των πλευρικών ομάδων μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με ασθενείς, μη ομοιοπολικούς δεσμούς, όπως δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς δεσμούς, δυνάμεις Van der Waals ή εξαιτίας της διάταξης των υδρόφοβων και υδρόφιλων μονάδων. Αυτή η ιδιότητα των πρωτεϊνών, που καθορίζει και πολλές από τις λειτουργίες τους, ονομάζεται πτύχωση (folding).

Η τελική τρισδιάστατη δομή που θα έχει μια πρωτεΐνη εξαρτάται λοιπόν αποκλειστικά από την αλληλουχία των αμινοξέων της και ονομάζεται πτυχωμένη δομή ή διαμόρφωση (conformation). Υπό την επίδραση κάποιων διαλυτών οι μη ομοιοπολικοί δεσμοί μπορεί να εξασθενίσουν και να σπάσουν και τότε η πρωτεΐνη ξεδιπλώνεται στην αρχική πολυπεπτιδική αλυσίδα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται μετουσίωση (denaturation) της πρωτεΐνης.

Η σημασία της τρισδιάστατης δομής μιας πρωτεΐνης είναι αναμφισβήτητη, αφού από αυτή εξαρτάται η σωστή λειτουργία της στον οργανισμό. Από την άλλη πλευρά αν κάποιες πρωτεΐνες για κάποιο λόγο δεν διπλωθούν σωστά, τότε μπορεί να σχηματίσουν αθροίσματα βλαπτικά για το κύτταρο ή και για ολόκληρους ιστούς. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν κάποιες νευροεκφυλιστικές διαταραχές, όπως το Alzheimer και η νόσος του Huntington. Άλλες ασθένειες που οφείλονται σε συσσώρευση λάθος «διπλωμένων» πρωτεϊνών είναι η σπογγώδης εγκεφαλοπάθεια των βοοειδών (νόσος των τρελών αγελάδων) και η νόσος Creutzfeld-Jacob στους ανθρώπους. Οι ασθένειες αυτές οφείλονται στην άθροιση της πρωτεΐνης PrP με λάθος αναδίπλωση στον εγκέφαλο. Μάλιστα οι πρωτεΐνες PrP με λάθος αναδίπλωση μπορεί να αναγκάσουν φυσιολογικές πρωτεΐνες PrP να υιοθετήσουν την λάθος αναδίπλωση και έτσι η ασθένεια εξαπλώνεται γρήγορα στα εγκεφαλικά κύτταρα και εν τέλει προκαλεί το θάνατο.

Για να καταλάβουμε την πολυπλοκότητα και την ποικιλομορφία των πρωτεϊνών, αρκεί να αναφέρουμε ότι μια πρωτεΐνη μπορεί να έχει από 30 μέχρι και πάνω από 10.000 αμινοξέα. Στην πλειοψηφία τους βέβαια οι πρωτεΐνες αποτελούνται από 50 έως 2.000 αμινοξέα, αλλά και πάλι οι δυνατότητες για διαφορετικούς συνδυασμούς είναι τεράστιες.

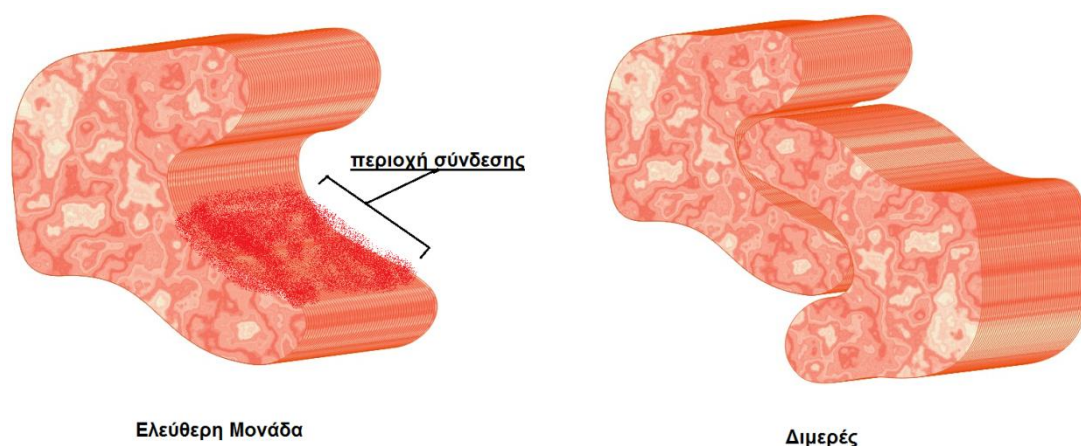
Πολύ βιολόγοι ασχολούνται σήμερα με τον εντοπισμό της αλληλουχίας των αμινοξέων διαφόρων πρωτεϊνών (Proteomics), χρησιμοποιώντας διάφορες άμεσες και έμμεσες μεθόδους που θα δούμε παρακάτω.



Πολλές πρωτεΐνες παρουσιάζουν παρεμφερείς ιδιότητες και σχετικά κοντινή δομή. Οι πρωτεΐνες αυτές λέμε ότι μπορούν να καταταγούν σε συγκεκριμένες πρωτεϊνικές οικογένειες (protein families). Τα μέλη μιας πρωτεϊνικής οικογένειας μπορεί να έχουν παρεμφερή αλληλουχία αμινοξέων και τρισδιάστατη διαμόρφωση, αλλά σε κάθε περίπτωση η κάθε πρωτεΐνη διεκπεραιώνει μια διαφορετική λειτουργία στον οργανισμό.

Όπως είδαμε, οι πρωτεΐνες αποκτούν τρισδιάστατη δομή με τους μη ομοιοπολικούς δεσμούς που σχηματίζονται ανάμεσα σε διάφορα σημεία του πολυπεπτιδικού σκελετού ή/και των πλευρικών ομάδων. Παρομοίως, διάφορες πρωτεΐνες μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους σχηματίζοντας μεγαλύτερες δομές. Επίσης, οι πρωτεΐνες μπορεί να συνδεθούν και με διάφορα μόρια του οργανισμού, μικρά ή μεγάλα. Οι περιοχές των πρωτεϊνών που μπορούν να συνδεθούν με άλλα μόρια ή πρωτεΐνες μέσω πολλών μη ομοιοπολικών δεσμών ονομάζονται *περιοχές σύνδεσης ή πρόσδεσης (binding sites)*.

Γενικά αποτελεί ιδιαίτερο γνώρισμα των πρωτεϊνών η δυνατότητά τους να σχηματίζουν δομές. Αρχικά, στην πιο απλή περίπτωση, δύο ίδιες πρωτεΐνες μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους και να σχηματίζουν μια συμμετρική τελική δομή. Η τελική δομή που προκύπτει στην περίπτωση αυτή ονομάζεται διμερές (dimer) και η σταθερότητά του είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των δύο ταυτιζόμενων περιοχών σύνδεσης. Επίσης, νέες πρωτεΐνες μπορεί να σχηματίζονται και από δύο ή περισσότερα διαφορετικά είδη πολυπεπτιδικών αλυσίδων.



Εικόνα 2.7: Σχηματισμός διμερούς πρωτεΐνης.

Μια άλλη σημαντική ιδιότητα των πρωτεϊνών είναι η ύπαρξη συμπληρωματικών θέσεων σύνδεσης πάνω στην ίδια πρωτεΐνη. Έτσι μια περιοχή σύνδεσης μπορεί να ενωθεί με μια άλλη περιοχή σύνδεσης πάνω στην ίδια πρωτεΐνη και με τον τρόπο αυτό είναι δυνατό να σχηματισθούν μεγάλα συμπλέγματα πρωτεϊνών.

Όταν τα μόρια διατάσσονται σε μορφή έλικας, τότε σχηματίζεται ένα εκτεταμένο νήμα που ονομάζεται ινίδιο. Παράδειγμα πρωτεΐνης που σχηματίζει ινίδια αποτελεί η ακτίνη, η οποία συμμετέχει στην διαδικασία κίνησης των μυών. Περισσότερες λεπτομέρειες για την συμβολή των πρωτεϊνών στους μηχανισμούς κίνησης θα δούμε στην επόμενη παράγραφο, η οποία περιγράφει τη λειτουργία των πρωτεϊνών. Επίσης, οι πρωτεΐνες σχηματίζουν δακτυλίους, φύλλα, σφαίρες ή σωλήνες. Η πληροφορία για τον τρόπο σύνδεσης στις πρωτεΐνες δεν χρειάζεται να δοθεί εξωτερικά, αφού οφείλεται στην αλληλουχία των αμινοξέων.

Η τρισδιάστατη δομή των διαφόρων πρωτεϊνών είναι συνήθως ιδιαίτερα πολύπλοκη. Παρ' όλα αυτά αν δούμε τις διάφορες πρωτεΐνες από απόσταση μπορούμε να ξεχωρίσουμε χονδρικά δύο μεγάλες υποκατηγορίες. Υπάρχουν οι πρωτεΐνες εκείνες στις οποίες η πολυπεπτιδική αλυσίδα διπλώνεται αλληπάλληλα σε μια συμπαγή δομή. Οι πρωτεΐνες αυτές ονομάζονται σφαιρικές (globular proteins), και στις σφαιρικές πρωτεΐνες ανήκουν κατά το πλείστον τα ένζυμα. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν εκείνες οι πρωτεΐνες που έχουν μεγάλο μήκος σε σχέση με τις άλλες διαστάσεις τους. Οι πρωτεΐνες αυτές ονομάζονται ινώδεις (fibrous proteins), και στις ινώδεις πρωτεΐνες ανήκουν σε μεγάλο ποσοστό οι εξωκυττάριες πρωτεΐνες όπως το κολλαγόνο.

Τέλος σε ότι αναφορά τις εξωκυττάριες πρωτεΐνες, παρατηρείται η ιδιαιτερότητα της σταθεροποίησης της τρισδιάστατης δομής τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Οι πρωτεΐνες αυτές βρίσκονται εκτεθειμένες στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος, έξω από την προστατευτική κυτταρική μεμβράνη. Έτσι, στην περίπτωση αυτή απαιτείται μια πιο σταθερή διασύνδεση, όπως αυτή που προσφέρει ο ομοιοπολικός δεσμός.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ομοιοπολικοί δεσμοί ανάμεσα σε άτομα θείου, ή αλλιώς δισουλφιδρυλικοί δεσμοί (disulfide bonds), ή αλλιώς δεσμός S-S. Γενικά οι δισουλφιδρυλικοί δεσμοί δεν μεταβάλλουν τη διαμόρφωση μιας πρωτεΐνης άλλα συνδέουν διαφορετικά τμήματα μιας ή περισσότερων πρωτεϊνών. Οι δεσμοί αυτοί χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στο σχηματισμό της τρίχας, όπου ξεχωριστές ίνες κερατίνης συνδέονται ομοιοπολικά μεταξύ τους.

---

### **Λειτουργίες πρωτεϊνών**

---

Οι λειτουργίες που επιτελούν οι διάφορες πρωτεΐνες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τρισδιάστατη δομή τους, αφού τα διαφορετικά αμινοξέα που συμμετέχουν στη σύνθεση μιας πρωτεΐνης της προσδίδουν και διαφορετικές χημικές ιδιότητες. Αυτός λοιπόν ο συνδυασμός εξωτερικής δομής και χημείας δίνει στις διάφορες πρωτεΐνες τη δυνατότητα να συμμετέχουν και να καθορίζουν δυναμικά φαινόμενα στα ζωντανά κύτταρα.

Για να επιτελέσουν τις λειτουργίες του οργανισμού όλες οι πρωτεΐνες απαιτείται να έχουν κάποια φυσική αλληλεπίδραση με άλλα μόρια. Όλες οι πρωτεΐνες λοιπόν συνδέονται με άλλα μόρια με μια ποικιλία διαφορετικών δεσμών που μπορεί να είναι από πολύ ισχυροί και μόνιμοι, μέχρι ασθενείς και ιδιαίτερα βραχύβιοι. Βέβαια, οι συνδέσεις αυτές δεν είναι ούτε άπειρες, ούτε τυχαίες. Αντίθετα κάθε πρωτεΐνη παρουσιάζει μεγάλη εξειδίκευση (specificity) και μπορεί να συνδεθεί μόνο με ένα ή μερικά από τα χιλιάδες μόρια που υπάρχουν στον οργανισμό μας.

Όπως αναφέραμε ήδη παραπάνω, η ικανότητα μιας πρωτεΐνης να συνδέεται με μια άλλη πρωτεΐνη ή ένα άλλο μόριο οφείλεται στο σχηματισμό πολλών ασθενών, μη ομοιοπολικών δεσμών σε όλη την περιοχή σύνδεσης. Επίσης, για να είναι αρκετά ισχυρός ο δεσμός αυτός και να μπορεί να επιτελέσει την απαιτούμενη λειτουργία, θα πρέπει οι διάφορες περιοχές να ταιριάζουν αρκετά καλά γεωμετρικά, όπως τα κομμάτια σε ένα πάζλ. Έτσι οι αποστάσεις μεταξύ των διαφόρων περιοχών των αμινοξέων που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν δεσμούς μικραίνουν και από την πληθώρα των ασθενών δεσμών που σχηματίζονται, έχουμε τελικά μια αρκετά ισχυρή σύνδεση μεταξύ πρωτεΐνης και μορίου.

Η ουσία που συνδέεται με μια πρωτεΐνη ονομάζεται *συνδέτης ή προσδέτης (ligand)*. Ο συνδέτης μπορεί να είναι ένα ιόν, ένα μικρό μόριο, μια άλλη πρωτεΐνη ή και ένα ογκώδες μακρομόριο.

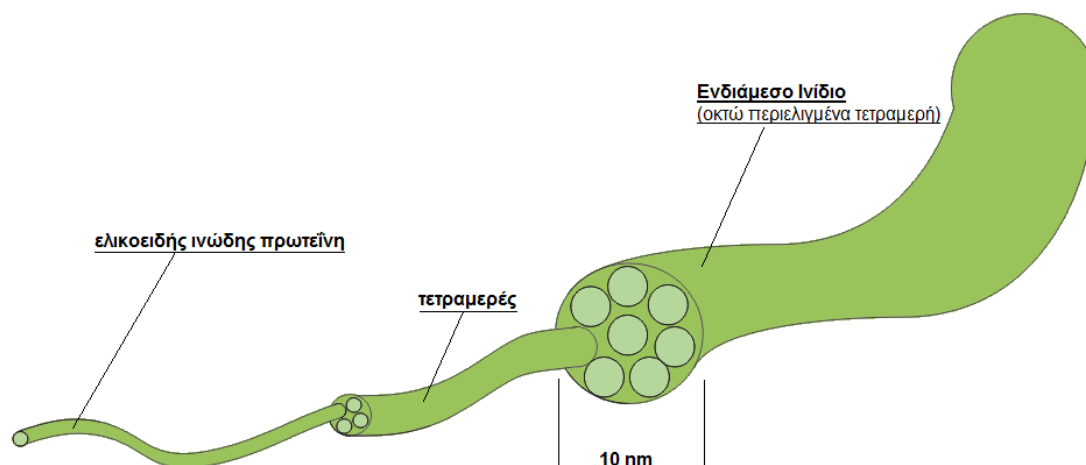
Από όλες τις πρωτεΐνες του οργανισμού μας, αυτές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στη σύνδεσή τους με διάφορους συνδετές, είναι τα αντισώματα. Τα αντισώματα, ή αλλιώς ανοσοσφαιρίνες, είναι πρωτεΐνες που παράγονται από το ανοσοποιητικό σύστημα ενός οργανισμού ως απόκριση σε μια εξωτερική εισβολή. Τα αντισώματα λοιπόν παράγονται με σκοπό να συνδεθούν ισχυρά με το μόριο στόχο και είτε να τον αδρανοποιούν άμεσα, είτε του δίνουν την απαραίτητη σήμανση ώστε στη συνέχεια να τον καταστρέψουν τα πιο ισχυρά κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος. Ο στόχος, τον οποίο αναγνωρίζει με μεγάλη εξειδίκευση ένα αντίσωμα, ονομάζεται κατ' αντιστοιχία αντιγόνο.

Εκτός όμως από τη δυνατότητα τους να συνδέονται με άλλες πρωτεΐνες ή παθογόνους μικροοργανισμούς, τα πρωτεϊνικά μόρια πολλές φορές, για να εκτελέσουν τις λειτουργίες τους, συνδέονται με άλλα μικρά μόρια, ιόντα ή ιχνοστοιχεία. Για παράδειγμα η αιμοσφαιρίνη του αίματος περιέχει ένα άτομο σιδήρου απαραίτητο για τη σύνδεση με το οξυγόνο. Άλλες πρωτεΐνες μπορεί να συνδέονται σε μόνιμες δομές, όπως οι πρωτεΐνες της κυτταρικής μεμβράνης που φροντίζουν για την επικοινωνία του κυττάρου με το εξωτερικό περιβάλλον.

Μια άλλη ιδιότητα των πρωτεϊνών που παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον είναι η ικανότητά τους να δομούν και να κινούν ολόκληρους ιστούς του οργανισμού. Το περίπλοκο δίκτυο των πρωτεϊνικών ινιδίων, στο οποίο οφείλει το κύτταρο την ικανότητα του να οργανώνει τα διάφορα συστατικά του, να λαμβάνει διάφορα σχήματα και να πραγματοποιεί κινήσεις, ονομάζεται κυτταροσκελετός (cytoskeleton). Ο κυτταροσκελετός είναι πολύ σημαντικός για την επιβίωση των κυττάρων ζωικών οργανισμών. Από την άλλη πλευρά, τα φυτικά κύτταρα που είναι πιο στατικά και δεν επιτελούν κινήσεις διαθέτουν το πιο άκαμπτο κυτταρικό τοίχωμα.<sup>[2,4]</sup>

Ο κυτταροσκελετός κατασκευάζεται από ένα πλέγμα που αποτελείται από τρία είδη πρωτεϊνικών ινιδίων: τα ενδιάμεσα ινίδια (intermediate filaments), τους μικροσωληνίσκους (microtubules) και τα νημάτια ή ινίδια ακτίνης (actin filaments). Στην συνέχεια θα εξετάσουμε συνοπτικά καθένα από αυτά τα τρία είδη.

- Ενδιάμεσα Ινίδια (intermediate filaments):



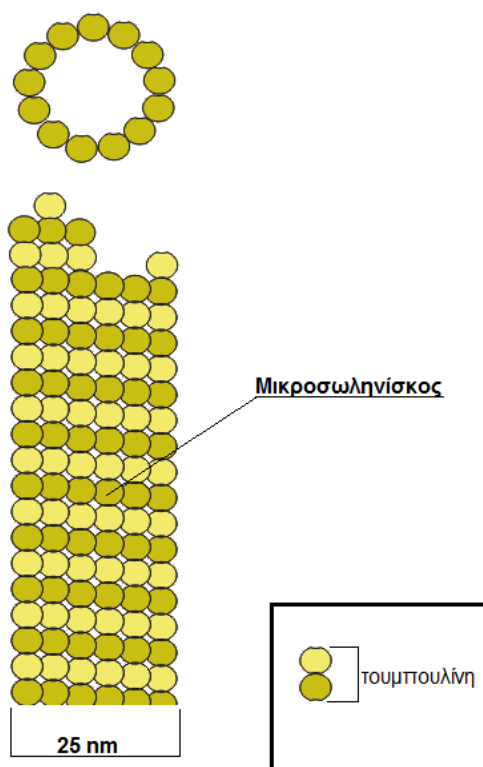
Εικόνα 2.8: Δομή ενδιάμεσου ινιδίου.

Σχηματίζονται από μια οικογένεια ινωδών πρωτεϊνών. Η ονομασία «ενδιάμεσα» προκύπτει από το γεγονός ότι η διάμετρός τους είναι μεν μικρότερη από τη διάμετρο των μικροσωληνίσκων, αλλά είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο των ινιδίων ακτίνης. Αποτελούν τα σκληρότερα και ανθεκτικότερα από τα τρία είδη ινιδίων και βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα των περισσότερων ζωικών κυττάρων. Επίσης αποτελούν σημαντικό ενισχυτικό και υποστηρικτικό υλικό του πυρηνικού περιβλήματος.

Στη δομή, τα ενδιάμεσα ινίδια μοιάζουν πολύ με σχοινιά. Οι μικρότεροι κλώνοι είναι μακριές ινώδεις πρωτεΐνες. Αυτές αποτελούν τα μονομερή των ινιδίων, ενώ κάθε μια έχει ελικοειδή δομή στο κυρίως σώμα της. Λόγω της ελικοειδούς δομής τους οι πρωτεΐνες αυτές μπορούν να περιελίσσονται η μια γύρω από την άλλη και να συνδέονται ανά δύο σε σταθερά διμερή. Στη συνέχεια, δύο διμερή συνδέονται μεταξύ τους με μη ομοιοπολικούς δεσμούς και σχηματίζουν ένα τετραμερές. Τέλος, οκτώ τετραμερή συνδέονται και πάλι μεταξύ τους με μη ομοιοπολικούς δεσμούς και σχηματίζουν το τελικό ενδιάμεσο ινίδιο. Η διάμετρος ενός ενδιάμεσου ινιδίου είναι περίπου 10nm.

Το βασικό χαρακτηριστικό των ενδιάμεσων ινιδίων είναι ότι προσδίδουν στα κύτταρα την απαραίτητη μηχανική ισχύ και για αυτό βρίσκονται σε αφθονία στο κυτταρόπλασμα κυττάρων που υπόκεινται σε μηχανική καταπόνηση. Τέτοια κύτταρα είναι τα νευρικά, τα μυϊκά και τα επιθηλιακά κύτταρα. Ειδικά στα κύτταρα της επιδερμίδας η προστασία είναι απαραίτητη, αφού συχνά υφίστανται ισχυρή μηχανική καταπόνηση. Τέλος, τα ενδιάμεσα ινίδια καλύπτουν και υποστηρίζουν την εσωτερική επιφάνεια της πυρηνικής μεμβράνης, οργανωμένα σε μια δομή που λέγεται πυρηνικός υμένας (nuclear lamina).

- Μικροσωληνίσκοι (microtubules):



Εικόνα 2.9: Δομή μικροσωληνίσκου.

Σχηματίζονται από υπομονάδες τουμπουλίνης (tubulin). Κάθε μονάδα τουμπουλίνης είναι ένα διμερές από δύο ισχυρά συνδεδεμένες μεταξύ του παρόμοιες σφαιρικές πρωτεΐνες. Οι μικροσωληνίσκοι έχουν μεγάλο μήκος και είναι σχετικά άκαμπτοι κοίλοι σωλήνες. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι συναρμολογούνται και αποσυναρμολογούνται πολύ γρήγορα. Στα κύτταρα σχηματίζουν ένα δίκτυο μέσω του οποίου μετακινούνται διάφορα μόρια και συστατικά του κυττάρου.

Τα δομικά συστατικά των μικροσωληνίσκων είναι οι υπομονάδες της τουμπουλίνης. Οι υπομονάδες αυτές στοιβάζονται η μια πάνω στην άλλη, πάντα με τον ίδιο προσανατολισμό, και σχηματίζουν τελικά ένα κοίλο κυλινδρικό μικροσωληνίσκο. Η σύνδεση μεταξύ των υπομονάδων γίνεται με μη ομοιοπολικούς δεσμούς. Οι μικροσωληνίσκοι που παράγονται με αυτή τη διαδικασία έχουν πάντα 13 υπομονάδες τουμπουλίνης στην περιφέρειά τους, ενώ κατά μήκος οι υπομονάδες έχουν πάντα τον ίδιο προσανατολισμό. Η εξωτερική διάμετρος ενός μικροσωληνίσκου είναι περίπου 25nm.

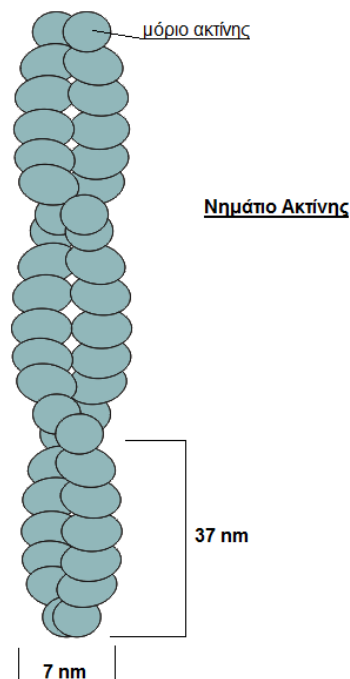
Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μικροσωληνίσκων είναι ότι μέσα στο κύτταρο η δομή τους παρουσιάζει αστάθεια. Ανάλογα με την διαδικασία που επιτελείται κάθε φορά δημιουργούνται νέοι μικροσωληνίσκοι, κάποιοι άλλοι διασπώνται πλήρως, ενώ άλλοι μπορεί να αυξομειώνουν το μήκος τους.

Με βάση λοιπόν το εκάστοτε δίκτυο των μικροσωληνίσκων πραγματοποιείται η οργάνωση του εσωτερικού του κυττάρου. Οι μικροσωληνίσκοι χρησιμοποιούνται ως τροχιές πάνω στις οποίες ταξιδεύουν και διακινούνται τα διάφορα υλικά του κυττάρου, όπως κυστίδια, οργανίδια κ.α. με τη βοήθεια κάποιων άλλων επικουρικών πρωτεϊνών. Οι πρωτεΐνες που προκαλούν την μετακίνηση των ουσιών πάνω στους μικροσωληνίσκους ονομάζονται κινητήριες πρωτεΐνες (motor proteins) και χωρίζονται γενικά στις κινησίνες (kinesins) και στις δυνεΐνες (dyneins). Το κριτήριο με βάση το οποίο γίνεται η διάκριση είναι η κατεύθυνση της κίνησης των πρωτεϊνών αυτών πάνω στους μικροσωληνίσκους, αφού όπως είδαμε, λόγω της δομής τους, οι μικροσωληνίσκοι έχουν συγκεκριμένο και διακριτό προσανατολισμό. Γενικά, οι κινητήριες πρωτεΐνες προσδένονται με το ένα άκρο στον μικροσωληνίσκο και με το άλλο άκρο τους παραλαμβάνουν μια ουσία προς μεταφορά. Στη συνέχεια κινούνται προς την καθορισμένη τους διεύθυνση καταναλώνοντας ενέργεια από το κύτταρο.

Μία άλλη πολύ βασική λειτουργία των μικροσωληνίσκων είναι ο διαχωρισμός των χρωμοσωμάτων κατά τη μίτωση ενός κυττάρου. Τότε οι μικροσωληνίσκοι που βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα μεταβάλλουν τη δομή τους και σχηματίζουν μια δομή που ονομάζεται μιτωτική άτρακτος (mitotic spindle). Η μιτωτική άτρακτος είναι απολύτως απαραίτητη ώστε να διαχωριστούν εξίσου τα χρωμοσώματα στα θυγατρικά κύτταρα.

Τέλος, οι μικροσωληνίσκοι μπορεί να σχηματίσουν και μόνιμες δομές οι οποίες να προεκβάλλουν από το κύτταρο. Οι δομές αυτές μπορεί να είναι κροσσοί (cilia) ή μαστίγια (flagella) και χρησιμοποιούνται για να σαρώνουν το χώρο γύρω από την κυτταρική επιφάνεια ή για να προωθούν το κύτταρο. Ο πυρήνας αυτών των δομών είναι μια διασυνδεδεμένη ομάδα μικροσωληνίσκων, η οποία αποκτά σχετική κίνηση χάρη σε έναν μηχανισμό παρόμοιο με αυτόν που περιγράφηκε για τη διακίνηση ουσιών στο κύτταρο μέσω του δικτύου των μικροσωληνίσκων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μαστίγιου σε ευκαρυωτικό κύτταρο αποτελεί η «ουρά» του σπερματοζωαρίου. Τα μαστίγια των ευκαρυωτικών κυττάρων δεν πρέπει να συγχέονται με τα μαστίγια των βακτηρίων που έχουν εντελώς διαφορετική δομή.

- Νημάτια ακτίνης (actin filaments):



2.10: Δομή νηματίου ακτίνης.

Τα νημάτια ή ινίδια της ακτίνης έχουν ως δομική μονάδα τη μικρή σφαιρική πρωτεΐνη ακτίνη. Τα νημάτια που σχηματίζονται από την ακτίνη είναι γενικά πιο λεπτά και ευλύγιστα από τους μικροσωληνίσκους και συνήθως έχουν μικρότερο μήκος. Οι ινώδεις αυτές δομές είναι άφθονες σχεδόν σε όλα τα είδη κυττάρων, αφού είναι απαραίτητες για πολλές κινήσεις του κυττάρου ως σύνολο, με τη συμμετοχή της κυτταρικής επιφάνειας. Επίσης παρουσιάζουν αρκετές δομικές και λειτουργικές ομοιότητες με τους μικροσωληνίσκους.

Τα νημάτια της ακτίνης ομοιάζουν στην όψη με αυτό που δηλώνει και το όνομά τους, δηλαδή με λεπτά νήματα. Τα μόρια της ακτίνης συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν ελικοειδείς δομές. Οι έλικες αυτές συνδέονται στην συνέχεια ανά δύο και σχηματίζουν μια περιελιγμένη αλυσίδα που αποτελεί το νημάτιο. Τα μόρια της ακτίνης είναι πολωμένα και όταν συνδέονται μεταξύ τους διατάσσονται όλα προς την ίδια κατεύθυνση, έτσι και τα νημάτια της ακτίνης, όπως και οι μικροσωληνίσκοι, είναι προσανατολισμένα. Η διάμετρος κάθε νηματίου είναι περίπου 7nm και η στροφές στη δίκλωνη έλικά του απέχουν μεταξύ τους 37nm.

Όπως και οι μικροσωληνίσκοι, έτσι και τα νημάτια της ακτίνης έχουν τη δυνατότητα να αυξομειώνουν συνεχώς το μήκος τους, να αποδομούνται ή να αναδομούνται με την βοήθεια άλλων πρωτεϊνών. Άλλωστε, η ιδιότητα αυτή δίνει και στα νημάτια την ικανότητα να μεταφέρουν ουσίες του κυττάρου, όπως και οι μικροσωληνίσκοι.

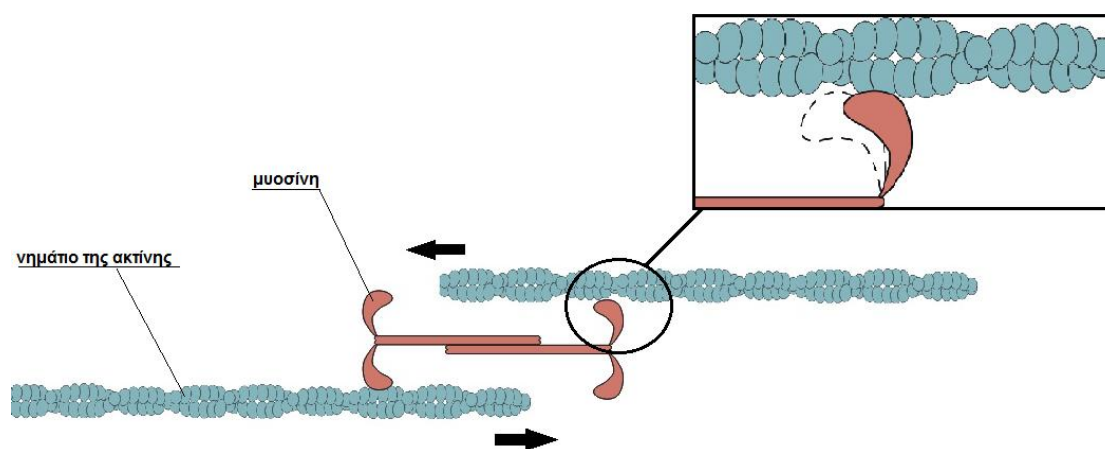
Μια δεύτερη ομοιότητα των νηματίων της ακτίνης με τους μικροσωληνίσκους είναι η δυνατότητά τους να συνδέονται με μεγάλο αριθμό πρωτεϊνών, οι οποίες στην περίπτωση αυτή ονομάζονται γενικά πρωτεΐνες που προσδένουν ακτίνη (actin-binding proteins). Οι πρωτεΐνες αυτές επιτρέπουν στα νημάτια να εκτελούν μια πληθώρα λειτουργιών.



Ανάλογα με το είδος των πρωτεϊνών που προσδένονται πάνω τους τα νημάτια της ακτίνης μπορούν να σχηματίσουν διάφορες παροδικές ή μόνιμες δομές. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι από τα ινίδια της ακτίνης σχηματίζονται οι μικρολάχνες (microvilli), που είναι δομές του εντέρου, οι δέσμες συστολής (contractile bundles) στο κυτταρόπλασμα, οι οποίες λειτουργούν σαν μύες του κυττάρου κ.α.

Ακόμα, διάφορες άλλες πρωτεΐνες συγκρατούν τα νήματα της ακτίνης και τα συγκεντρώνουν σε ένα στρώμα ακριβώς κάτω από την κυτταρική μεμβράνη. Η περιοχή αυτή ονομάζεται κυτταρικός φλοιός (cell cortex) και έχει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση νηματίων της ακτίνης από όλο το κυτταρόπλασμα. Επίσης, υπάρχουν άλλες πρωτεΐνες που κόβουν τα νημάτια της ακτίνης και απομονώνουν τα μονομερή τους. Όπως είδαμε και παραπάνω, τα νημάτια της ακτίνης, όπως και οι μικροσωληνίσκοι μεταφέρουν ουσίες των κυττάρων. Η λειτουργία αυτή ακολουθεί τον ίδιο μηχανισμό που περιγράφηκε παραπάνω με τη βοήθεια διάφορων συνδετικών πρωτεϊνών.

Τέλος, το χαρακτηριστικό των νηματίων ακτίνης στο οποίο θα σταθούμε λίγο περισσότερο εδώ, είναι η ικανότητά τους να σχηματίζουν δέσμες συστολής στα μυϊκά κύτταρα για την κίνηση του οργανισμού. Αυτό επιτυγχάνεται με την σύνδεση των νηματίων ακτίνης με διάφορες κινητήριες πρωτεΐνες που ανήκουν στην οικογένεια της μυοσίνης. Έτσι με έναν μηχανισμό που καταναλώνει ενέργεια από το κύτταρο επιτυγχάνεται η σχετική κίνηση των νηματίων της ακτίνης και σε μεγαλύτερη κλίμακα η συστολή και χαλάρωση των μυών. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σχηματικά μια αναπαράσταση της σύνδεσης και αλληλεπίδρασης των ινιδίων της ακτίνης με τη μυοσίνη.



2.11: Μηχανισμός μυϊκής συστολής.

Όσα ειπώθηκαν παραπάνω προφανώς δεν καλύπτουν το φάσμα και την ποικιλομορφία των πρωτεϊνών και των λειτουργιών που αυτές επιτελούν σε έναν οργανισμό. Σκοπός μας είναι περισσότερο να κατανοήσει ο αναγνώστης τη σημασία των πρωτεϊνών αλλά και το πόσο πολύπλοκες και πολλές φορές ανεξερεύνητες είναι οι διαδικασίες των κυττάρων. Επίσης, σε μια προσπάθεια να επεξηγηθεί ο μηχανισμός κίνησης ενός ολόκληρου οργανισμού, αλλά και ρίχνοντας μια πρώτη ματιά στην επικοινωνία των κυττάρων, εξηγήσαμε παραπάνω τις βασικές νηματοειδείς πρωτεΐνες του ανθρώπινου οργανισμού.<sup>[2,8]</sup>

Παραπάνω παρουσιάσαμε συνοπτικά διάφορες πληροφορίες για το πώς είναι το κύτταρο, τι είναι το DNA και τι είναι οι πρωτεΐνες και ποιες βασικές λειτουργίες επιτελούν. Στο σημείο αυτό, σε μια προσπάθεια να συνδέσουμε τα παραπάνω, θα παρουσιάσουμε στην παράγραφο αυτή πώς από το DNA παράγονται οι πρωτεΐνες και πώς οι πρωτεΐνες διαμορφώνουν όλες τις λειτουργίες του οργανισμού υλοποιώντας την επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων.

---

### **Παραγωγή πρωτεϊνών**

---

Παραπάνω παρουσιάσαμε πως η αλληλουχία των αμινοξέων καθορίζει την τρισδιάστατη δομή και τις δυνατές λειτουργίες μιας πρωτεΐνης. Οι πρωτεΐνες με τη σειρά τους εκτελούν το σύνολο των λειτουργιών ενός οργανισμού. Επομένως το στοιχείο αυτό που «ελέγχει» τις πρωτεΐνες, «ελέγχει» και ολόκληρο τον οργανισμό. Είδαμε στην παράγραφο 2.3 ότι στις αλληλουχίες των νουκλεοτιδίων του DNA είναι αποθηκευμένες όλες οι πληροφορίες που αφορούν έναν οργανισμό και τα γονίδια φέρουν τις απαραίτητες πληροφορίες για την παραγωγή των πρωτεϊνών. Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε σε γενικές γραμμές πώς πραγματοποιείται αυτή η μετάβαση από το DNA στις πρωτεΐνες.

Στην περίπτωση που μια πρωτεΐνη είναι αναγκαία για το κύτταρο, η δίκλωνη αλυσίδα του DNA διαχωρίζεται στο αντίστοιχο σημείο όπου βρίσκεται το γονίδιο που περιέχει τις πληροφορίες για την παραγωγή αυτής της πρωτεΐνης. Στη συνέχεια το «ανοιχτό» τμήμα του DNA αντιγράφεται σε ένα άλλο είδος νουκλεϊκού οξέως, το ριβονουκλεϊκό οξύ (RiboNucleic Acid, RNA). Αυτά τα RNA αντίγραφα χρησιμοποιούνται με τη σειρά τους για την παραγωγή των αντίστοιχων πρωτεϊνών.

Αν και εκ πρώτης όψεως ίσως φαίνεται άσκοπη η παρεμβολή του RNA στην όλη διαδικασία, στην πραγματικότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφύλαξη της ακεραιότητας του εκάστοτε γονιδίου που είναι συνήθως μοναδικό σε κάθε κύτταρο. Επίσης, με παράλληλη παραγωγή πολλών μορίων RNA αυξάνεται η παραγωγικότητα των γονιδίων και μπορούν να παραχθούν τεράστιες ποσότητες πρωτεϊνών μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα.

Η διαδικασία, όπου η αλληλουχία των νουκλεοτιδίων του DNA οδηγεί στην δημιουργία μια κατάλληλης αλληλουχίας RNA, ονομάζεται *μεταγραφή* (*transcription*). Στη δομή του RNA δεν θα σταθούμε ιδιαίτερα καθώς είναι παρόμοια με αυτή του DNA. Οι κύριες διαφορές μεταξύ DNA και RNA είναι:

- Το RNA είναι μονόκλωνο, ενώ το DNA είναι δίκλωνο.
- Το RNA περιέχει στο νουκλεοτιδίό του το σάκχαρο ριβόζη, αντί της δεοξυριβόζης που περιέχουν τα νουκλεοτίδια του DNA.
- Το RNA περιέχει τη βάση ουρακίλη (U), αντί της θυμίνης (T) του DNA. Κατ' αντιστοιχία με τη θυμίνη (T), η ουρακίλη (U) συνδέεται σε ζεύγος με την αδερίνη (A).

Παρατηρούμε με βάση τα παραπάνω ότι το DNA δεν διαφέρει ιδιαίτερα από το RNA. Όμως μια σημαντική δομική διαφορά είναι ότι το RNA είναι μονόκλωνο και έχει τη δυνατότητα να αναδιπλώνεται όπως οι πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Έτσι το RNA εκτός από τον ενδιάμεσο σταθμό κατά την παραγωγή πρωτεϊνών μπορεί να επιτελέσει και δομικές, πληροφοριακές ή καταλυτικές λειτουργίες για το ίδιο το κύτταρο.

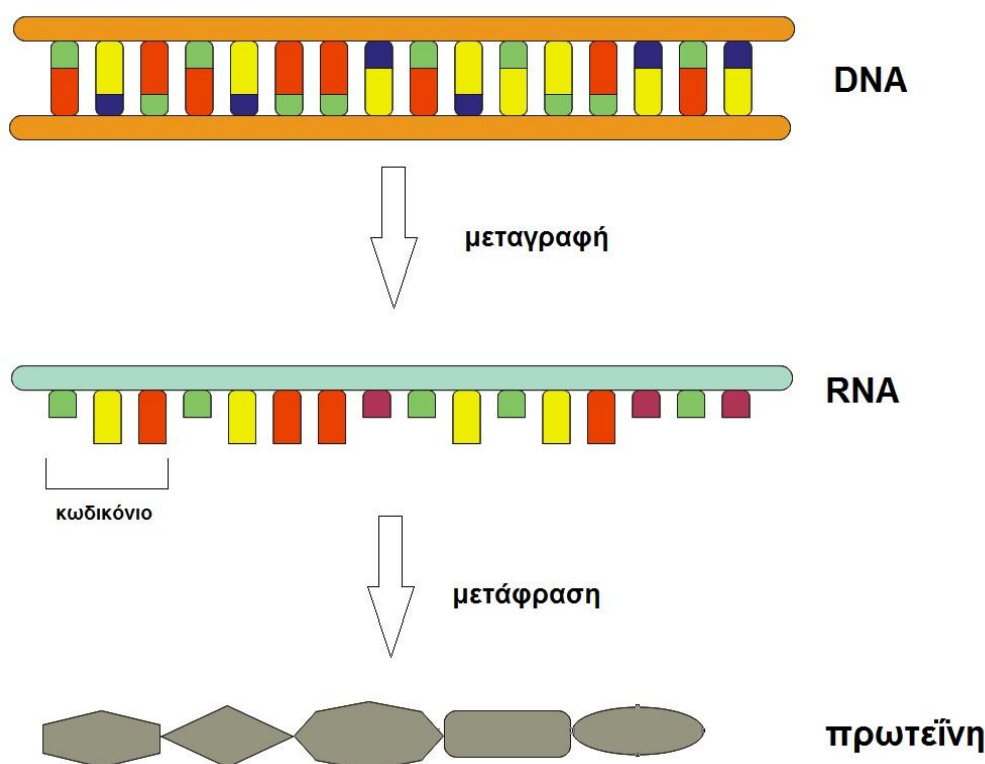


Το ερώτημα στο οποίο μένει να απαντήσουμε στη φάση αυτή είναι πώς από την αλληλουχία των τεσσάρων διαφορετικών ριβονουκλεοτιδίων του RNA μπορεί να κωδικοποιηθεί η αλληλουχία των 20 διαφορετικών αμινοξέων που συνθέτουν κάθε πρωτεΐνη. Η διαδικασία αυτή της μετάβασης από τα νουκλεοτίδια του RNA στα αμινοξέα των βάσεων ονομάζεται *μετάφραση (translation)*.

Προφανώς, δεδομένου του ότι έχουμε 20 αμινοξέα και μόνο 4 βάσεις η αντιστοιχία αμινοξέων και βάσεων αποκλείεται να είναι ένα προς ένα, αλλά στη μετάφραση παρεμβάλλεται κάποια κωδικοποίηση. Το σύνολο των κανόνων που εφαρμόζονται κατά τη μετάφραση ονομάζεται γενετικός κώδικας (genetic code).

Οι επιστήμονες, μετά από έρευνες, ανακάλυψαν ότι για την παραγωγή των πρωτεϊνών το RNA διαβάζεται σειριακά και κάθε αμινοξύ αντιστοιχεί σε μια σειρά από τρία νουκλεοτίδια. Βέβαια δεδομένου ότι το RNA αποτελείται από τέσσερα διαφορετικά νουκλεοτίδια, οι συνδυασμοί από τρία νουκλεοτίδια που μπορεί να εμφανιστούν είναι  $4^3=64$ , δηλαδή [AAA, AUA, AAU, AGC...].

Δεδομένου ότι οι δυνατοί συνδυασμοί είναι περισσότεροι από τα κωδικοποιούμενα αμινοξέα, οι επιστήμονες απέδειξαν ότι ο κώδικας αυτός υπερκαλύπτει τις ανάγκες και κάποια αμινοξέα παράγονται με περισσότερους από έναν συνδυασμούς. Κάθε συνδυασμός τριών νουκλεοτιδίων πάντως κωδικοποιεί τουλάχιστον ένα αμινοξύ και αποκαλείται από τους ερευνητές κωδικόνιο (codon). Σήμερα έχει αποκρυπτογραφηθεί το σύνολο των αντιστοιχίσεων μεταξύ κωδικονίων και αμινοξέων.<sup>[2,6]</sup>



2.12: Μεταγραφή / μετάφραση.

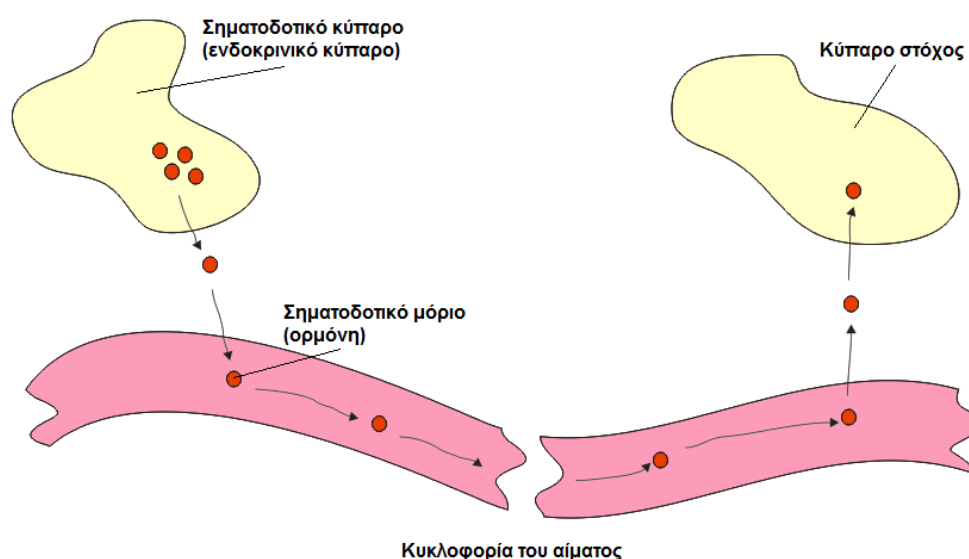
Για να επιβιώσει ένα κύτταρο μέσα στο πολύπλοκο περιβάλλον του απαιτείται να έχει τη δυνατότητα να ερμηνεύει ποικίλα σήματα που εκπέμπονται από άλλα κύτταρα και να προσαρμόσει ανάλογα τη συμπεριφορά του. Η ιδιότητα αυτή των κυττάρων είναι κρίσιμη, από τη σωστή ανάπτυξη του εμβρυικού οργανισμού μέχρι και την καθημερινή λειτουργία ενός πλήρως ανεπτυγμένου ατόμου.

Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε συνοπτικά τους τρόπους με τους οποίους τα κύτταρα επικοινωνούν μεταξύ τους καθώς και με ποιους βασικούς τρόπους διαδίδεται και αξιοποιείται η πληροφορία από το ίδιο το κύτταρο. Ξεκινώντας από κάποιους βασικούς ορισμούς, το κύτταρο το οποίο εκπέμπει την πληροφορία ονομάζεται σηματοδοτικό κύτταρο (signaling cell), ενώ το κύτταρο το οποίο λαμβάνει την πληροφορία ονομάζεται κύτταρο στόχος (target cell). Τα σήματα που μεταδίδονται ανάμεσα στα κύτταρα είναι συνήθως συγκεκριμένα χημικά μόρια. Η διαδικασία της ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των κυττάρων αλλά και η διάδοση της πληροφορίας μέσα στο κύτταρο δέκτη, ονομάζεται κυτταρική σηματοδότηση (cell signaling).

Τα σήματα που αποστέλλονται ανάμεσα στα κύτταρα ενός πολυκύτταρου οργανισμού μπορεί να είναι πρωτεΐνες, πεπτίδια, αμινοξέα, νουκλεοτίδια, στεροειδή, παράγωγα λιπαρών οξέων ή ακόμα και αέριες ουσίες σε διάλυμα. Ανάλογα με την ταχύτητα και την επιλεκτικότητα με την οποία πρέπει να παραδοθούν τα σήματα στους παραλήπτες τους, διακρίνουμε τους παρακάτω τέσσερις τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ των κυττάρων.

### ➤ Ενδοκρινής επικοινωνία.

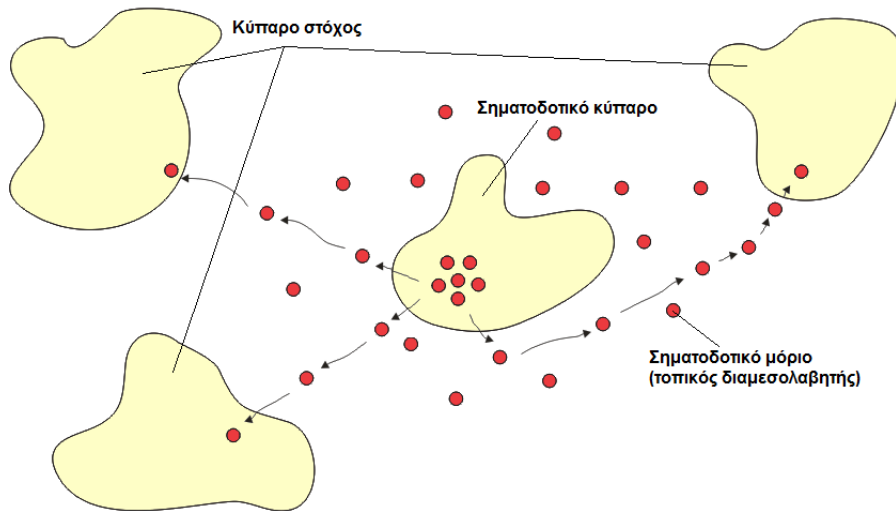
Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας είναι ο πιο κοινός και περιλαμβάνει τη μετάδοση ενός σήματος σε όλον τον οργανισμό μέσω της κυκλοφορίας του αίματος. Τα μόρια που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτή ως σήματα ονομάζονται ορμόνες (hormones). Κάποια κύτταρα λοιπόν, που ονομάζονται ενδοκρινή, παράγουν τα σήματα, που ονομάζονται ορμόνες, και τα εκκρίνουν στο αίμα το οποίο στη συνέχεια τα μεταφέρει σε ολόκληρο τον οργανισμό.



Εικόνα 2.13: Ενδοκρινής επικοινωνία.

➤ Παρακρινής επικοινωνία.

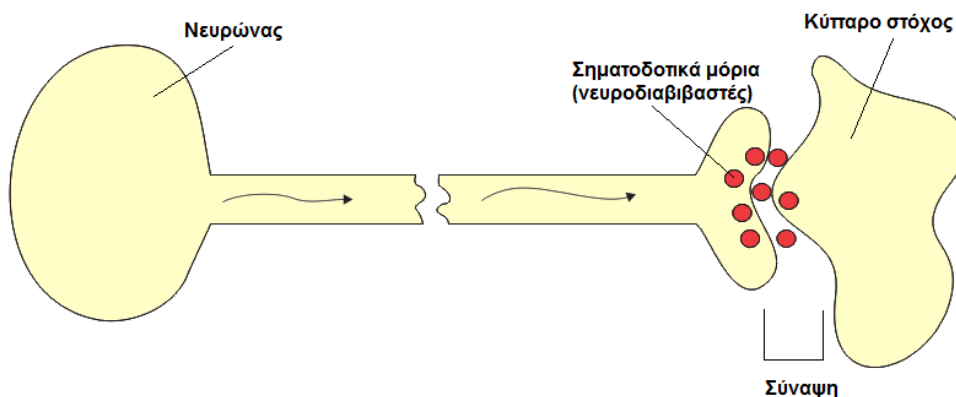
Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των κυττάρων δεν είναι τόσο κοινός και αφορά την μετάδοση ενός σήματος τοπικά, όπως στην περίπτωση του ελέγχου μιας φλεγμονής ή στην επούλωση κάποιου τραύματος. Στην περίπτωση αυτή τα σηματοδοτικά μόρια διαχέονται τοπικά στον εξωκυτταρικό χώρο, χωρίς να εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος. Έτσι τα μόρια αυτά παραμένουν κοντά στο κύτταρο που τα εκκρίνει και δρουν ως τοπικοί διαμεσολαβητές (local mediators) επηρεάζοντας σταδιακά τα γειτονικά κύτταρα.



Εικόνα 2.14: Παρακρινής επικοινωνία.

➤ Νευρωνική επικοινωνία.

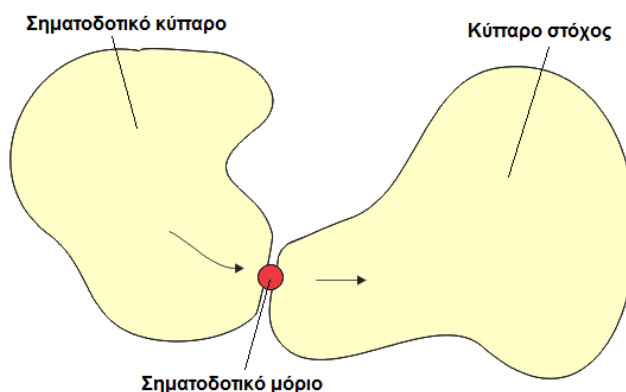
Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας μοιάζει με την ενδοκρινή επικοινωνία στο γεγονός ότι τα σήματα διανύουν σχετικά μεγάλες αποστάσεις μέσα στο σώμα, αλλά διαφέρει ριζικά στο γεγονός ότι οι ταχύτητες μετάδοσης είναι κατά πολύ μεγαλύτερες. Στην περίπτωση αυτή τα σήματα ανταλλάσσονται μεταξύ συγκεκριμένων κυττάρων που έχουν δημιουργήσει εξειδικευμένες συνάψεις τα νευρικά κύτταρα. Όταν ένας νευρώνας στέλνει σήματα στο κύτταρο στόχο αυτά έχουν τη μορφή ηλεκτρικών παλμών και ταξιδεύουν με ταχύτητες της τάξης των 100m/s. Μόλις φτάσουν στο στόχο τους οι ηλεκτρικοί παλμοί διεγείρουν την απόλυση, η οποία με τη σειρά της εκκρίνει σηματοδοτικά μόρια που ονομάζονται νευροδιαβιβαστές (neurotransmitters). Οι νευροδιαβιβαστές διαχέονται στο στενό χώρο της σύναψης και εισέρχονται ταχύτατα στο κύτταρο στόχο.



Εικόνα 2.15: Νευρωνική επικοινωνία.

➤ Επικοινωνία εξαρτώμενη από επαφή.

Ο τρόπος αυτός επικοινωνίας δεν χρησιμοποιείται παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις και έχει ιδιαίτερα μικρή διάρκεια. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι τα σηματοδοτικά μόρια δεν απελευθερώνονται καθόλου στον εξωκυτταρικό χώρο αλλά μεταφέρονται με άμεση επαφή του ενός κυττάρου με το άλλο. Αυτή η σηματοδότηση παίζει κυρίαρχο ρόλο κατά την εμβρυική ανάπτυξη, όπου κύτταρα πολύ κοντινά μεταξύ τους πρέπει να διαφοροποιηθούν μεταξύ τους και αυτή η πληροφορία πρέπει να μεταδοθεί από το ένα στο άλλο.



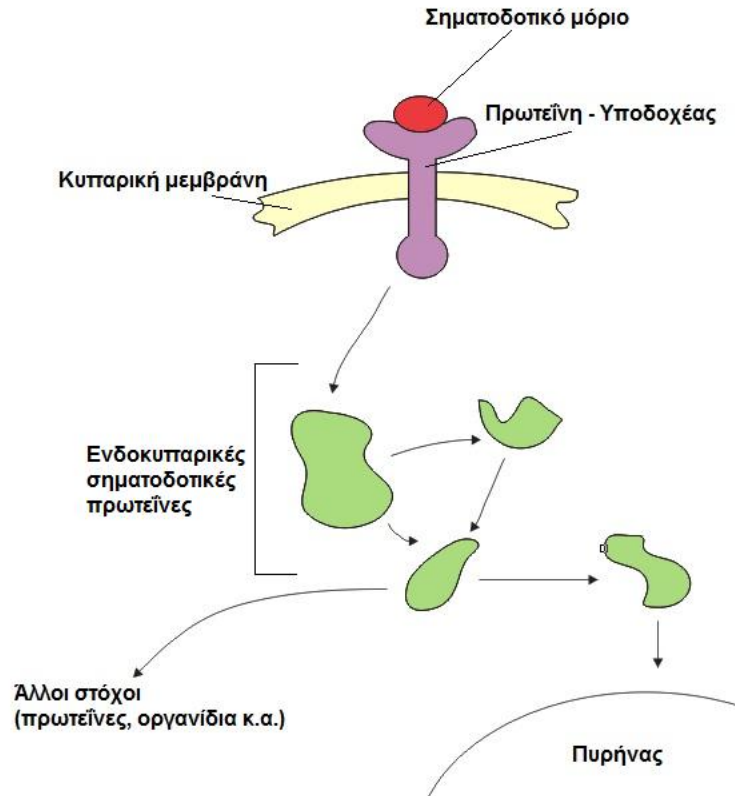
Εικόνα 2.16: Επικοινωνία εξαρτώμενη από επαφή.

Παραπάνω εξετάσαμε πώς τα σήματα διαδίδονται ανάμεσα στα σηματοδοτικά κύτταρα και στα κύτταρα στόχους. Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε πως τα κύτταρα διακρίνουν τα σήματα που απευθύνονται προς αυτά και τα προσλαμβάνουν.

Για να ανιχνεύσει ένα κύτταρο ένα σηματοδοτικό μόριο θα πρέπει στην επιφάνεια του κυττάρου να υπάρχει μια πρωτεΐνη η οποία θα δράσει ως υποδοχέας (receptor protein). Αν ένα κύτταρο δεν διαθέτει τον συγκεκριμένο υποδοχέα δεν μπορεί να ανταποκριθεί στο αντίστοιχο σήμα. Με αυτό τον τρόπο περιορίζεται ο αριθμός των σημάτων στα οποία μπορεί να αντιδράσει ένα κύτταρο, αφού γύρω του μπορεί να υπάρχουν εκατοντάδες σήματα, αλλά κάθε κύτταρο διαθέτει μόνο μερικές δεκάδες διαφορετικούς υποδοχείς.

Ακόμα και στην περίπτωση που ένα κύτταρο διαθέτει το συγκεκριμένο υποδοχέα, η διαδικασία μετάδοσης του σήματος στο εσωτερικό του κυττάρου για την επίτευξη του αντίστοιχου σκοπού είναι αρκετά πολύπλοκη. Σε αυτή τη διαδικασία συμμετέχουν, εκτός από την πρωτεΐνη υποδοχέα της κυτταρικής μεμβράνης και μια ομάδα από άλλες ενδοκυτταριές σηματοδοτικές πρωτεΐνες. Ανάλογα με το είδος του σήματος, το είδος του κυττάρου στόχου και το ενδοκυτταρικό σύστημα μετάδοσης της πληροφορίας, τα αποτελέσματα καθώς και ο χρόνος εμφάνισής τους, μπορεί να ποικίλουν.

Επίσης, όπως είδαμε παραπάνω, ένα κύτταρο μπορεί να έχει μερικές δεκάδες υποδοχείς και να δέχεται διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα. Αυτά τα σήματα μπορεί να αλληλεπιδρούν μεταξύ καθώς διακινούνται μέσα από το ενδοκυτταρικό σηματοδοτικό δίκτυο. Έτσι η παρουσία ενός σήματος μπορεί να μπλοκάρει πλήρως ή μερικά τη διάδοση ενός άλλου. Αντίστροφα, για την διάδοση ενός σήματος μπορεί να απαιτείται και η παρουσία ενός άλλου. Ο ακριβής τρόπος πάντως με τον οποίο ένα κύτταρο ανταποκρίνεται στα εξωτερικά ερεθίσματα δεν έχει διευκρινιστεί ακόμα και αποτελεί αντικείμενο μελέτης, μεταξύ άλλων, της συστημικής βιολογίας.



Εικόνα 2.17: Διάδοση σήματος στο κύτταρο.

Επομένως είδαμε ότι για να ανιχνεύσει ένα κύτταρο ένα σήμα από το περιβάλλον του θα πρέπει κατ' αρχήν να διαθέτει την αντίστοιχη πρωτεΐνη υποδοχέα στην κυτταρική του μεμβράνη. Στον κανόνα αυτό υπάρχουν ορισμένες εξαιρέσεις, αφού ορισμένα σηματοδοτικά μόρια μπορούν να διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη και να επιδρούν απευθείας μέσα στο κύτταρο.

Ένα παράδειγμα τέτοιων μορίων αποτελούν οι στεροειδείς ορμόνες και οι θυρεοειδείς ορμόνες. Αυτές διαπερνούν ελεύθερα την κυτταρική μεμβράνη και προσδένονται απευθείας σε υποδοχείς που βρίσκονται στο κυτταροδιάλυμα ή στον πυρήνα. Αυτές οι ορμόνες έχουν συνήθως πολύ σημαντική επίδραση στην λειτουργία ολόκληρου του οργανισμού.<sup>[2,7]</sup>

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

[2.1]: <http://en.wikipedia.org/wiki/>

[2.2]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος I, Κεφάλαιο 1.

[2.3]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος I, Κεφάλαιο 2.

[2.4]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος I, Κεφάλαιο 4.

[2.5]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος I, Κεφάλαιο 5.

[2.6]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος I, Κεφάλαιο 7.

[2.7]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος II, Κεφάλαιο 16.

[2.8]: Βασικές αρχές κυτταρικής βιολογίας, Alberts Bray Hopkin Johnson Lewis Raff Roberts Walter, τόμος II, Κεφάλαιο 17.